Énergie, Mines et Ressources Canada
Energy, Mines and Resources Canada

CANMET

Centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie
Canada Centre for Mineral and Energy Technology

ACTES DU
SYMPOSIUM DE CANMET SUR LES SYSTÈMES EXPERTS
DANS
L'INDUSTRIE MINÉRALE
OTTAWA (ONTARIO)

SALLE CAMSELL
588, RUE BOOTH
OTTAWA

Le 31 mars 1987
Édité par D. Laguitton

112 pp

MICROMEDIA

SP87-4F

© Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1988

En vente au Canada par l'entremise des

Librairies associées
et autres libraires

ou par la poste auprès du

Centre d'édition du gouvernement du Canada
Approvisionnements et Services Canada
Ottawa (Canada) K1A 0S9

N° de catalogue M38-15/87-4F
ISBN 0-660-92394-7

Prix sujet à changement sans préavis

PRÉFACE

Le présent document regroupe les transcriptions des exposés faits durant le Symposium sur les systèmes experts organisé par CANMET le 31 mars 1987. Ces transcriptions ont été réalisées à partir des enregistrements sonores, sauf dans le cas de la dernière communication orale où seules les aides visuelles utilisées par l'auteur ont été reproduites. Chaque fois que c'était possible, on a aussi inclus sous leur forme originale les aides visuelles clé dont les autres conférenciers se sont servis dans leur exposé. Le lecteur doit donc se montrer indulgent, car le niveau de langue quelquefois employé est celui du langage parlé. Distribués avec la bande magnétoscopique intitulée "L'ère de l'ordinateur dans l'industrie minéralurgique", ces actes permettront de renforcer ce message implicite : Dans l'industrie minérale comme dans les autres industries, on peut aujourd'hui éviter l'obsolescence et la faillite en intégrant dès maintenant la technologie de demain.

D. Laguitton

FOREWORD

This manual contains the transcripts of the presentations made at the CANMET Symposium on Expert Systems, on March 31, 1987. The transcripts were produced from the sound recording of the sessions except for the last presentation for which only the visual aids used by the author are reproduced. Whenever available, the key visual aids of other papers have also been included in their original form. The reader must therefore bear with colloquial sentences and expressions. Distributed as a kit with the videotape entitled "The Computer Age in Mineral Processing", these proceedings will reinforce the underlying message that in our industry as in others, obsolescence and bankruptcy can be fought today by an early integration of the technology that will prevail tomorrow.

D. Laguitton

TABLE DES MATIÈRES

MATIN **PAGE**

1. Allocution d'ouverture
   K. Whitham, Sous-ministre adjoint
   Secteur de la recherche et de la technologie
   Énergie, Mines et Ressources Canada 1

2. Projection de la bande magnétoscopique : "L'ère de l'ordinateur dans l'industrie minéralurgique"

3. IA et systèmes experts : Notions et définitions
   D. Laguitton, CANMET, Ottawa 5

4. Élaboration d'un système expert d'aide à la décision pour l'opérateur d'un procédé industriel dans une raffinerie moderne d'électrolyse du zinc : Résultats préliminaires
   C. Ghibu, Cosigma-Lavalin, Montréal
   D. Dupuis, Zinc électrolytique du Canada Ltée, Valleyfield, Québec 21

5. Élaboration d'un prototype de système expert destiné à l'aide au diagnostic dans un atelier de broyage clinker en cimenterie
   J. Vanderstichelen, Ciments Canada Lafarge, Montréal 35

6. Raisons économiques justifiant la présence des systèmes experts dans les concentrateurs
   G.M. Swinkels, (Métallurgie extractive)
   Vancouver 44

APRÈS-MIDI **PAGE**

PREMIÈRE PARTIE

7. Transfert de l'expertise dans les systèmes experts
D. Broadhurst, UNISYS Corp., Winnipeg 53

8. Systèmes experts en temps réel pour les industries de traitement
J. Dreussi, LMI, Cambridge, Mass. 70

9. Outils de développement de systèmes experts sur PC
T. Gomi, Applied AI Systems Inc., Kanata, Ontario 79

DEUXIÈME PARTIE

Projection de la bande magnétoscopique tirée de la pochette de présentation sur les systèmes experts de la Texas Instruments, intitulée How to select a project; how to start. Enregistrements du premier et du deuxième Artifical Intelligence Satellite Symposium. Texas Instruments, P.O. Box 181153, Austin, Texas, 78718.

ALLOCUTION D'OUVERTURE

MONSIEUR K. WHITHAM, SMA,
SECTEUR DE LA RECHERCHE ET DE LA TECHNOLOGIE
ÉNERGIE, MINES ET RESSOURCES CANADA

C'est avec beaucoup de plaisir que j'ai accepté d'ouvrir le présent Symposium sur les systèmes experts organisé par CANMET et de vous souhaiter, à vous tous qui venez de tous les coins du pays, la plus cordiale des bienvenues à Énergie, Mines et Ressources. Nous sommes très heureux d'accueillir ici des représentants de l'industrie, du milieu universitaire et du gouvernement, d'autant plus que l'industrie est représentée à la fois par les utilisateurs de la technologie et par ceux qui la développent et assurent les services connexes.

Rarement, avons-nous eu un meilleur exemple de l'évolution rapide de la technologie de la fin du vingtième siècle, qu'avec l'intelligence artificielle (IA), plus particulièrement avec les systèmes experts, qui tentent d'imiter le mode de raisonnement de l'être humain et sa façon de résoudre les problèmes.

Alors que les fabriquants de la technologie et ceux qui assurent les services connexes s'efforcent d'obtenir une part d'un énorme marché envisagé, les utilisateurs éventuels n'ont souvent qu'une faible idée des possibilités qu'offrent ces techniques avancées et ne comprennent que vaguement la terminologie qui décrit les nouveaux outils proposés. Il faut expliquer à l'utilisateur les expressions logique floue, système de traitement de la connaissance, moteur d'inférence, objet et règle, programmation à base d'objets, chaînage avant et chaînage arrière, règles heuristiques et squelettes de systèmes experts pour qu'il puisse choisir en connaissance de cause parmi les nombreuses solutions logicielles qui lui sont proposées et résoudre les difficultés techniques auxquelles il fait face. Grâce à la démonstration d'outils et d'applications prototypes, on peut très efficacement parfaire les connaissances sur les technologies dans une industrie cible. Énergie, Mines et

Ressources Canada est fier de participer aujourd'hui à ce transfert technologique en organisant un symposium d'une journée sur les systèmes experts destinés à l'industrie minérale.

Il y a à CANMET une longue tradition rattachée à l'innovation technologique et au transfert du savoir. Sa contribution scientifique à la simulation du processus de traitement du minerai remonte à des documents et à des rapports préparés au début des années 70, lorsqu'on utilisait très peu l'ordinateur dans les concentrateurs du pays et encore moins dans les corporations de traitement du minerai en général. Ce thème a été un peu plus développé à la fin des années 70 et au début des années 80, lors de la décentralisation des moyens de traitement informatique vers les terminaux, grâce aux réseaux de données. C'est à ce moment que CANMET a entrepris son projet SPOC sur la simulation du traitement du minerai et du charbon, dont l'objet était d'intégrer la première génération d'un logiciel de simulation aux tout nouveaux ordinateurs installés un peu partout dans les centres de traitement du minerai au Canada. On a fait appel à la compétence de nombreux centres d'excellence établis dans le domaine, notamment dans les secteurs universitaire, gouvernemental et privé, pour regrouper l'ensemble des méthodes et des logiciels d'évaluation et d'optimisation de processus par ordinateur. Pendant six ans, on a rédigé des programmes machine et produit la documentation connexe pour atteindre les objectifs suivants : aider les ingénieurs automaticiens à assurer la conduite quotidienne des processus,augmenter l'exactitude des vérifications de procédés, améliorer la conception et la modernisation des usines, faciliter la sélection et la conception de l'équipement ou développer les techniques d'enseignement et de formation reliées au traitement du minerai. Le transfert du savoir s'est fait dès le tout début du projet SPOC et, en 1985, environ 70 organisations avaient déjà décidé d'acquérir de CANMET le logiciel pour gros ordinateurs et la documentation connexe. Aujourd'hui, ce nombre dépasse 130. On note certaines manifestations de ce transfert : des publications spécialisées mentionnent le logiciel SPOC. Dans l'industrie, on a implanté un grand nombre de logiciels provenant de CANMET. La reconnaissance internationale a suivi, un certain nombre de demandes et une rétroaction positive étant exprimées par les principaux pays producteurs de minerai.

Dans l'intervalle, la technologie informatique se développait à un rythme très rapide et, au milieu des années 80, le marché du micro-ordinateur avait en grande partie adopté les normes de compatibilité avec le PC. CANMET s'est empressé de saisir cette occasion de transférer plus facilement ses logiciels et a converti sur des disquettes pour PC toute la collection de programmes SPOC écrits en Fortran. En plus d'assurer le transfert technologique en distribuant des logiciels et des manuels, CANMET a tenu de nombreux ateliers pratiques sur des domaines spécifiques de l'informatique appliquée à l'industrie minérale. Environ 100 personnes, occupant des postes clés dans les compagnies canadiennes, ont profité de ces séances de formation.

Tout ingénieur sait que la notion de transfert suppose un émetteur, un relais et un récepteur. CANMET a rempli son mandat; il a été un émetteur de nouvelles technologies, un relais pour cette méthodologie mise au point dans les nombreux centres de recherche spécialisés en traitement du minerai au pays. CANMET a aussi organisé des ateliers et des séminaires pour encourager l'industrie "réceptrice" à s'adapter à cette nouvelle technologie. Un comité directeur, composé de membres de l'industrie, a été formé pour faire connaître le projet SPOC à l'industrie et assurer le contrôle à ce niveau. Cependant, l'adaptation de la main-d'oeuvre industrielle s'est faite beaucoup plus lentement que l'innovation technologique. La pénétration de l'informatique est toujours largement fonction du processus de renouvellement naturel du personnel, soit de la venue de nouveaux employés qui connaissent l'informatique.

Il est très clair que le transfert technologique dans le secteur de la simulation de processus industriel suppose beaucoup plus qu'un échange de disquettes ou de manuels d'instructions. Cependant, la situation peut maintenant très bien se développer plus rapidement car l'apparition des systèmes experts jouera un rôle important dans le transfert du savoir, y compris dans le transfert de l'expertise informatique. Comme prolongement logique du projet SPOC, le Laboratoire des sciences minérales de CANMET a mis sur pied un projet d'intégration des systèmes experts comme outil de recherche et de développement pour le traitement du minerai assisté par ordinateur, le projet SPEX (Simulation of Process Expertise). Les systèmes experts se situeraient au-delà des méthodes de calcul numérique : on y introduirait de nombreuses règles de jugement ou d'autres connaissances heuristiques élaborées par des

opérateurs et les ingénieurs expérimentés au fil des années. Comme ils se servent de langages pseudo-naturels, les systèmes experts promettent d'être un outil de formation et de diagnostic très puissant et bientôt, ils seront intégrés au logiciel de commande automatique.

Comme préambule aux activités menées dans ce domaine en 1987-1988, le Laboratoire des sciences minérales a organisé deux études de faisabilité pilotes, dont l'objet était d'évaluer les outils de développement de systèmes experts types. La première s'appuyait sur les micro-ordinateurs à architecture conventionnelle et la seconde, sur une machine LISP d'avant-garde et un squelette de système expert puissant. Ces deux prototypes seront étudiés plus en détails durant le symposium. Une de ces applications se fait dans un atelier de lixiviation d'une raffinerie de zinc et l'autre s'applique à un circuit de broyage clinker dans une cimenterie.

CANMET peut donc d'ores et déjà faire des recommandations sur la façon d'aborder cette nouvelle technologie. Le présent symposium constitue en quelque sorte pour les utilisateurs éventuels de cette technologie dans l'industrie minérale la première occasion de se renseigner sur les systèmes experts et d'entrer en communication avec les fournisseurs d'outils IA.

En pensant à ce transfert technologique, je vous souhaite donc un très beau symposium. Je vous invite à échanger sur les différents problèmes techniques qui vous préoccupent, à chercher de nouvelles solutions, des façons de recueillir dans des systèmes experts permanents et perfectibles des connaissances anciennes et périssables, mais aussi combien valables, à vous mettre en rapport avec le personnel de CANMET pour éventuellement assurer peut-être un échange dans le domaine technique et surtout, à établir une certaine forme de communication avec CANMET pour l'informer des problèmes que vous devez résoudre, des obstacles que vous devez franchir, des succès que vous avez réalisés et des échecs que vous avez subis. Ainsi, nous pourrons continuer de surmonter les difficultés que nous réserve l'avenir dans l'industrie minérale canadienne.

IA ET SYSTÈMES EXPERTS: NOTIONS ET DÉFINITIONS

D. LAGUITTON, CHERCHEUR SCIENTIFIQUE, CANMET

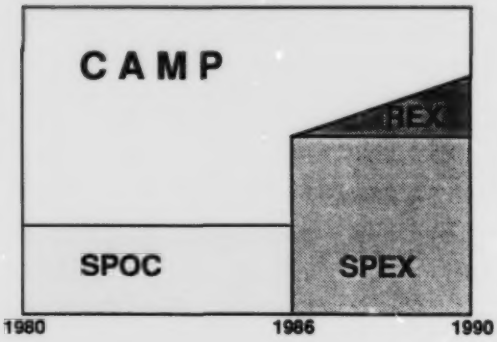
Dans le présent exposé sur les systèmes experts, je voudrais définir les termes et ainsi éviter que toutes les présentations qui suivront constituent une introduction sur les systèmes experts. Vous savez, c'est le sujet sur lequel on a fait le plus d'introductions en 1986 et ce sera probablement aussi le cas en 1987. Mais, me voici devant un auditoire qui s'intéresse plus aux démonstrations qu'aux introductions. Je ferai donc l'introduction et j'espère que les autres conférenciers s'en tiendront aux démonstrations.

Le présent auditoire regroupe des représentants de deux grandes familles, de deux sphères d'activités. Le premier groupe est formé de personnes qui travaillent dans le domaine de l'intelligence artificielle. Ces personnes ne sont pas toutes des vendeurs, mais, comme nous le savons, celles qu'on remarque le plus le sont. Outre les vendeurs, nous avons aussi les gens du secteur universitaire qui, au cours des 30 dernières années, ont contribué à l'élaboration des outils IA et au développement de l'intelligence artificielle comme science. Maintenant, nous sommes presque dépassés par le nombre de vendeurs IA qui nous présentent des systèmes pleinement exploitables et utilisent des expressions, comme intelligence artificielle, système de traitement de la connaissance, LISP, squelettes de systèmes experts, que je voudrais ici définir à l'intention de ceux et celles qui ne les connaissent pas. Si certains d'entre vous les connaissent mieux que moi, venez me voir après l'exposé et dites-moi où j'ai fait erreur. Le deuxième groupe se compose des ingénieurs en minéralurgie, qui voient les choses d'un oeil très pratique et recherchent des solutions. Leur travail est de produire et non d'enjoliver leur processus avec la plus récente trouvaille, machine ou logiciel, de la technologie informatique. Si ce type d'équipement peut les aider à mieux faire leur travail, ils s'en serviront, mais ils sont pragmatiques et veulent trouver des solutions. Ces deux mondes différents, ces deux spécialités

distinctes sont séparés par un fossé qui ne peut être comblé que par la transmission du savoir qui, comme vous le savez ou comme vous l'a appris Monsieur Whitham, Ph.D., durant son exposé ou encore, comme vous l'avez vu durant la projection vidéo qui a suivi, est une des missions confiées à CANMET. Pour ce faire, il faut mettre ces deux mondes en communication, comme on le fait aujourd'hui.

Nous espérons que vous saisirez cette occasion qui vous est offerte de vous retrouver parmi des représentants, des concepteurs et des utilisateurs de l'intelligence artificielle. Nous essayons aussi de supporter vos entreprises conjointes dans le cadre des projets que nous réalisons à CANMET. Très souvent, un expert, quel que soit son domaine de spécialisation, considère que quiconque n'est pas engagé dans son type d'activité ignore tout de son domaine. À ce type de personne, j'aimerais dire que "le nombre de choses sur lesquelles j'ignore tout a augmenté de façon alarmante". J'utilise la première personne du singulier parce que je suis concerné, mais je soupçonne que cela peut aussi toucher bon nombre de ceux qui sont ici présents. Nous devons donc de plus en plus accepter l'idée qu'il nous faut faire appel au transfert de l'expertise pour acquérir les connaissances spécialisées qui ne relèvent pas de notre sphère de compétence. Il est avantageux de réunir les représentants de ces deux mondes, car les concepteurs de la technologie IA se sont énormément appuyés sur la notion de prototypage qui convient particulièrement bien à la façon de penser des membres de l'industrie minérale. Ceux-ci sont habitués à la notion de projet pilote dans lequel on fait des essais à petite échelle pour éviter que ne se produise une catastrophe à plus grande échelle. L'évaluation d'outils par le biais du prototypage semble donc s'avérer une façon très prometteuse pour ces deux mondes, facilitant les échanges de vue sur les problèmes et les solutions.

À CANMET, nous nous sommes engagés à fond avec le projet de simulation en 1980 et en 1986, nous avons ajouté à nos activités l'élaboration de systèmes experts (figure 1). Nous ne perdons jamais de vue l'objectif final qu'est la conduite de processus industriel. Nos efforts de développement de systèmes experts étaient orientés dans deux directions en 1986.



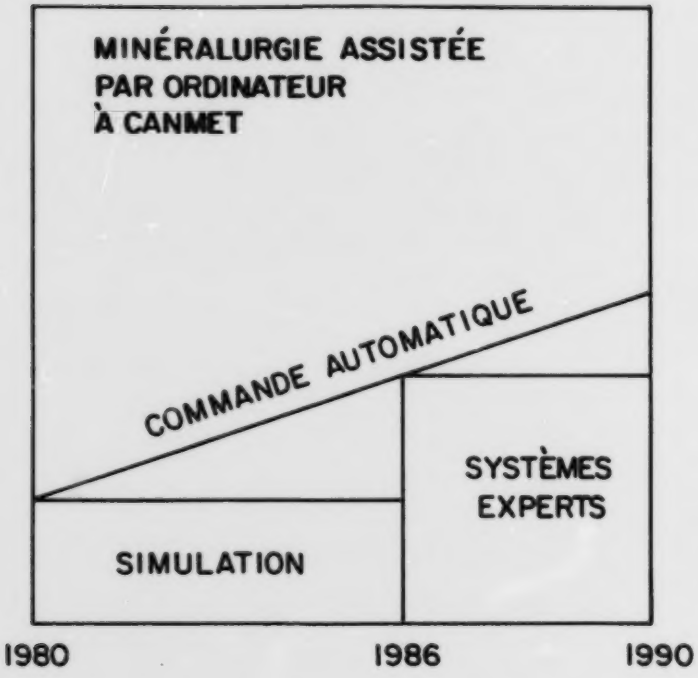


Fig. 1 Traitement du minerai assisté par ordinateur à CANMET depuis 1980

Pour évaluer les outils IA par le biais du prototypage, nous avons choisi d'utiliser deux catégories d'outils, la première comprenant les PC, les ordinateurs personnels, et la seconde, les machines LISP, des ordinateurs spécialisés en IA (figure 2). Dans le premier cas, nous évaluons un squelette de système expert, le Personal Consultant de la Texas Instruments. Nous exploitons ce squelette de système expert, dans une raffinerie de zinc et l'équipe chargée d'évaluer cet outil est formée de représentants de CANMET, de Lavalin et de la Zinc Électrolique du Canada limitée. Dans le deuxième cas, nous évaluons la machine LISP, Explorer de la TI, et le squelette KEE (Knowledge Engineering Envirement). Le logiciel KEE est développé par Intellicorp et cette application est exécutée dans une cimenterie. L'équipe chargée de ce projet se compose de représentants des organismes suivants : CANMET,Ciments Canada Lafarge, Université Laval et Unisys, une compagnie née de la fusion de Sperry et Burroughs. Ces deux projets seront décrits plus en détails au cours des exposés suivants. G.M. Swinkels, Ph. D., nous parlera aussi de la façon dont il entrevoit l'avenir des systèmes experts dans l'industrie minérale. Voyons maintenant les définitions.

Qu'est-ce que l'intelligence artificielle. Dites-moi ce qu'est l'intelligence et je vous dirai ce qu'est l'intelligence artificielle. C'est à peu près la même chose, sauf que les opérations sont exécutées par une machine. C'est la simulation par un appareil artificiel, notamment une machine, un ordinateur, d'un comportement généralement qualifié d'intelligent chez un humain. La Texas Instruments propose la définition suivante : L'intelligence artificielle est l'étude de la façon dont on pourrait rendre l'ordinateur capable de résoudre des problèmes qui devraient généralement solliciter l'intelligence humaine. Les illustrations dont je me sers ici sont distribuées par la Texas Instruments dans leur excellente pochette de présentation qui inclut des diapositives, des manuels et des bandes magnétoscopiques.

Au cours des vingt ou trente dernières années, l'ordinateur a évolué. Il a servi d'abord de machine à calculer, ensuite de gestionnaire de bases de données. Après, ce fut un appareil de traitement de l'information, de traitement de texte ou de transmission de données d'un réseau à l'autre et maintenant, il entre dans l'ère du traitement de la connaissance, précisément le domaine d'application des systèmes experts. Les différents éléments de

① AI TOOLS ASSESSMENT BY PROTOTYPING		
② TOOLS:	PC	KEE / EXPLORER
③ DOMAIN:	ZINC	CEMENT
④ USER:	CANMET LAVALIN CEZ	CANMET LAFARGE UNIVERSITE LAVAL UNISYS

Fig. 2. Les deux approches adoptées par CANMET en 1986 pour le prototypage de systèmes experts

① ÉVALUATION DES OUTILS IA PAR LE BIAIS DU PROTOTYPAGE

② OUTILS : A) PC
B) KEE/EXPLORER

③ DOMAINE : A) TRAITEMENT DU ZINC
B) TRAITEMENT DU CIMENT

④ UTILISATEUR : A) CANMET
B) LAVALIN
C) ZINC ÉLECTROLITIQUE DU CANADA LIMITÉE
D) LAFARGE
E) UNIVERSITÉ LAVAL
F) UNISYS

l'intelligence artificielle sont illustrés à la figure 3. Au centre, il y a le traitement symbolique, opposé au traitement numérique, domaine traditionnel des applications informatiques. Les symboles peuvent être des mots, des dessins ou encore toute autre représentation symbolique dont l'être humain se sert pour représenter la connaissance. On fait appel au traitement symbolique pour simuler certaines fonctions,notamment la reconnaissance de formes, la recherche d'une solution particulière dans une gamme déterminée de solutions possibles, la représentation de connaissances et l'inférence, désignant le processus de raisonnement réel. Pour exécuter ces fonctions IA, on peut faire appel aux langages naturels ou langages pseudo-naturels et aux méthodes d'acquisition de la connaissance. Finalement, avec ces interfaces, on peut, à titre d'utilisateur, élaborer des applications dans les domaines suivants : la robotique, la planification et l'ordonnancement, le génie logiciel, les systèmes experts, la reconnaissance de la parole, la vision artificielle ou l'enseignement assisté par ordinateur. On peut donc définir le traitement symbolique comme la représentation et la manipulation de connaissances et d'informations représentées par des symboles, comme la simulation du raisonnement humain. Ces symboles peuvent très bien représenter des objets, des notions, des propriétés ou des liens. À titre d'exemple, citons les éléments suivants : un broyeur et un classificateur sont tous deux des objets, le broyage ou la comminution sont des notions, la viscosité, la couleur et la température sont des qualités qu'on peut représenter à l'aide de symboles. À la figure 4, on montre les différences entre l'élaboration d'un logiciel conventionnel et celle d'un logiciel symbolique. Dans le premier cas, l'utilisateur doit tout d'abord préciser ses besoins, de même que les fonctions de son système et rencontrer ensuite un programmeur ou un analyste qui conçoit le logiciel particulier recherché et en établit les spécifications. Ces étapes sont ensuite suivies de la mise en oeuvre du système. À ce point, l'utilisateur peut vouloir apporter des corrections. Il faut donc répéter le processus de façon itérative. Il ne faut pas oublier ici que la modification d'un logiciel écrit dans un langage conventionnel comme le Fortran ou un autre n'est pas une tâche ordinaire et qu'il faut non seulement bien connaître le langage, mais aussi l'ensemble des spécifications du système à concevoir. Comparativement, le traitement symbolique permet l'élaboration d'un logiciel dans un cadre beaucoup plus souple, l'étude des besoins pouvant être suivie de l'établissement d'une maquette du système grâce à un prototypage très

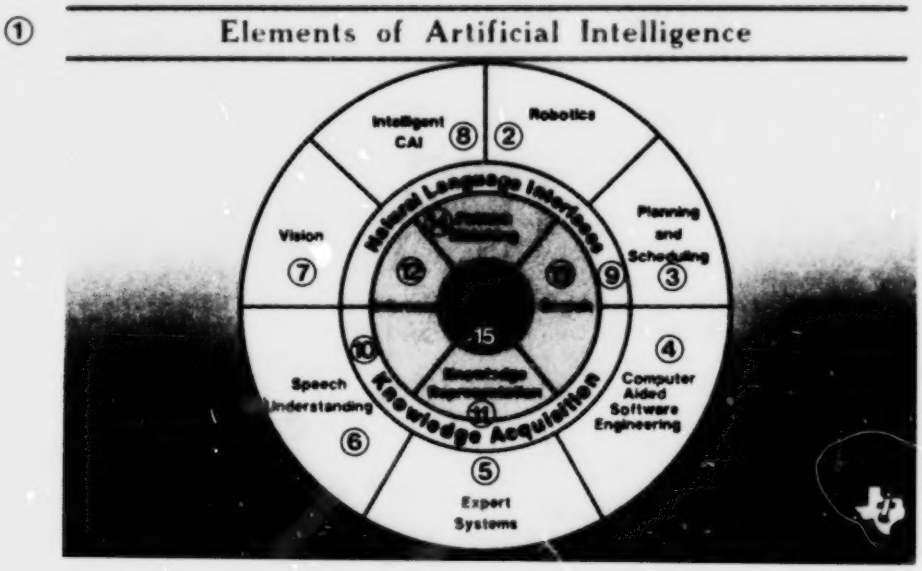


Fig. 3 Éléments de l'intelligence artificielle

① Éléments de l'intelligence artificielle
② Robotique
③ Planification et ordonnancement
④ Génie logiciel assisté par ordinateur
⑤ Systèmes experts
⑥ Compréhension de la parole
⑦ Vision
⑧ Enseignement intelligent assisté par ordinateur
⑨ Interfaces en langage naturel
⑩ Acquisition des connaissances
⑪ Représentation des connaissances
⑫ Inférence
⑬ Recherche
⑭ Appariement
⑮ Traitement symbolique

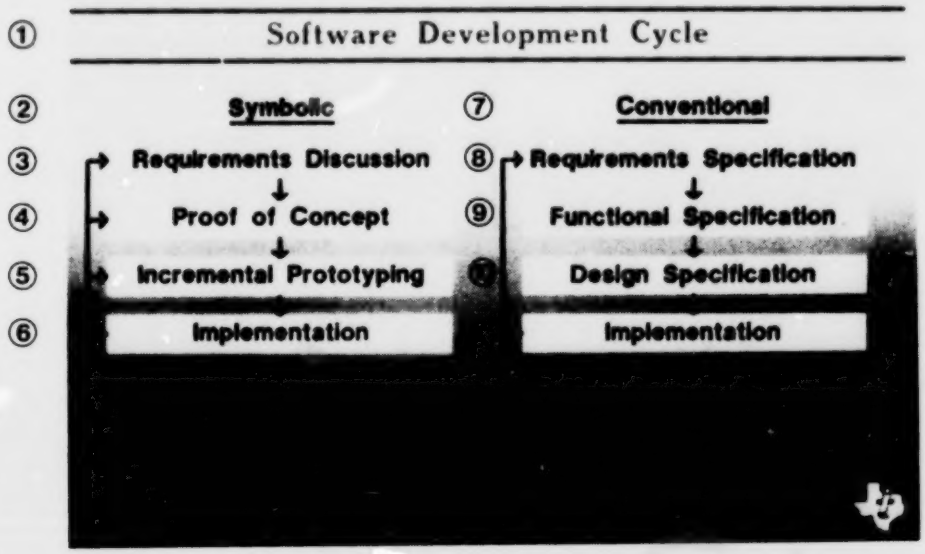


Fig. 4 Différences entre l'élaboration d'un progiciel conventionnel et celle d'un logiciel symbolique

① Cycle d'élaboration d'un logiciel
② Traitement symbolique
③ Étude des besoins
④ Matérialisation du concept (maquette)
⑤ Élaboration de prototypes successifs
⑥ Mise en oeuvre
⑦ Traitement conventionnel
⑧ Précision des besoins
⑨ Précision des fonctions
⑩ Conception

- Participation de l'utilisateur final et possibilité d'apporter des modification durant l'élaboration
- Importante amélioration de la productivité du concepteur
- Plus grande facilité de mise à jour et de perfectionnement

rapide dans lequel on n'utilise que quelques unes des idées ou des règles qui seront mises en oeuvre dans le système final. Si le concept est valide et est accepté, on peut élaborer successivement d'autres prototypes, jusqu'à ce qu'on obtienne la version finale du système. Durant l'exécution de toutes ces opérations, la modification des fonctions du système ou des connaissances sur lesquelles le logiciel s'appuie se fait d'une façon beaucoup plus souple et facile que lorsqu'il s'agit de l'élaboration d'un logiciel conventionnel.

On reconnaît généralement que la principale qualité d'un concepteur de systèmes experts est d'exceller dans le domaine de la communication humaine, plutôt que dans celui de l'informatique. En réalité, l'expertise en informatique est plutôt un handicap qu'un avantage dans ce secteur.

Que sont les systèmes experts? On peut définir les systèmes experts comme des programmes machine qui utilisent les connaissances et l'expérience d'un expert pour résoudre des problèmes complexes, étroitement cernés. En d'autres mots, ce sont les logiciels qui simulent les activités artificielles d'un domaine d'expertise défini comme étant à la fois un art et une science. Les systèmes experts s'appuient sur les résultats de la recherche dans les domaines suivants de l'intelligence artificielle : la représentation des connaissances, les méthodes d'inférence, la procédure d'explication et de justification et les langages naturels. Pour élaborer un système expert, il faut faire intervenir un expert, un spécialiste dans le secteur dans lequel on a besoin du système expert, et un cogniticien, de nos jours l'équivalent d'un programmeur analyste traditionnel. L'ingénieur cogniticien saisit le domaine de connaissance de l'expert et le convertit en un système expert composé d'une base de données, de règles et de faits. Pour ce faire, il utilise l'interface d'élaboration d'un squelette de système expert. Éventuellement, comme on le dit souvent, l'expert ne se retire pas, mais est converti en disquette. Lorsque le système expert est élaboré, l'utilisateur peut consulter les connaissances qui y sont intégrées en se servant de l'interface mise à sa disposition et de la procédure d'explication et de justification. Le système expert peut alors lui faire des recommandations ou servir d'expert-conseil et répondre à ses questions.

Maintenant, voyons une question qu'on pose souvent. Pourquoi LISP et qu'est-ce que LISP? Et bien voilà. LISP est un langage de traitement symbolique qui existe depuis de nombreuses années, mais a été récemment redécouvert à cause des progrès réalisés en intelligence artificielle. Ce n'est pas le seul langage de l'intelligence artificielle. D'autres sont très répandus, notamment PROLOG, NIAL. LISP s'est popularisé en Amérique du Nord partiellement à cause de l'élaboration des machines LISP, des appareils spécialisés dans lesquels on a intégré de nombreuses fonctions du langage LISP, devenues par la suite des fonctions des systèmes experts. LISP sert au traitement symbolique. Il assure une grande souplesse, offre de nombreuses possibilités d'extension, exécute des fonctions interactives intéressantes et constitue un excellent cadre d'élaboration. Une machine LISP comprend les éléments suivants : une machine spécialisée, un puissant interface avec l'utilisateur, des fonctions en LISP intégrées, comme je l'ai dit, au système et un très bon logiciel qui facilite grandement l'élaboration de systèmes experts. Comme nous le verrons, les micro-ordinateurs constituent aussi une autre solution très intéressante et un certain nombre de squelettes de systèmes experts, exploitables sur micro-ordinateurs du type PC, ont été commercialisés.

Quelques mots maintenant sur les méthodes de représentation de la connaissance. Elles sont au nombre de trois : les connaissances pouvant être représentées sous forme de règles, à l'aide de cadres sémantiques, ou par l'entremise de réseaux sémantiques dont je parlerai brièvement. Une règle comprend deux parties, une prémisse et une conclusion ou action (figure 5). Par exemple "SI..." une prémisse, "ALORS..." une conclusion ou "ALORS..." une commande. Si vous aimez faire de la vitesse, alors conduisez une voiture sport. Si la consommation d'énergie du broyeur diminue, alors la charge circulante du broyeur augmente probablement à cause de l'écoulement laminaire dans le broyeur. Un cadre sémantique, qu'on appelle aussi unité ou classe, représente par exemple une voiture (figure 6). Il est doté de certaines propriétés, notamment d'un type, d'un prix et au besoin, d'autres propriétés. Les connaissances peuvent être représentées à l'aide d'une structure arborescente, composée de divers cadres sémantiques. Par exemple, un cadre appelé voiture peut être subdivisé en deux classes secondaires, ma voiture et la voiture de Jean.

REPRÉSENTATION DES CONNAISSANCES - RÈGLES

UNE RÈGLE CONTIENT :

- Une prémisse

- La partie "si"

- Une action

- La partie "alors"

exemple : "si" aime la vitesse

"alors" achète une voiture sport

Fig. 5 Représentation de connaissances à l'aide d'une règle

Chacune des classes secondaires peut avoir des valeurs particulières pour l'ensemble de propriétés définies dans le cadre sémantique. Ma voiture peut par exemple, être une voiture sport, tandis que celle de Jean peut être une familiale. Un système à base de connaissances particulier peut commander les règles d'héritage des propriétés entre les divers cadres représentés dans une structure arborescente. Certaines propriétés peuvent être transmises à tous les membres des classes secondaires et d'autres, être définies localement pour des membres particuliers. Dans un réseau sémantique, les objets comme les voitures, les bateaux, les personnes, etc. sont reliés par des expressions sémantiques qui établissent les liens entre les divers objets de la structure en forme d'arbre (figure 7). Par exemple une personne conduit une voiture, une voiture a des roues.

J'aimerais maintenant parler des mécanismes de contrôle d'inférence utilisés dans les systèmes experts. Le processus d'inférence est le mode de raisonnement du système expert. Il y a essentiellement deux mécanismes inférenciels

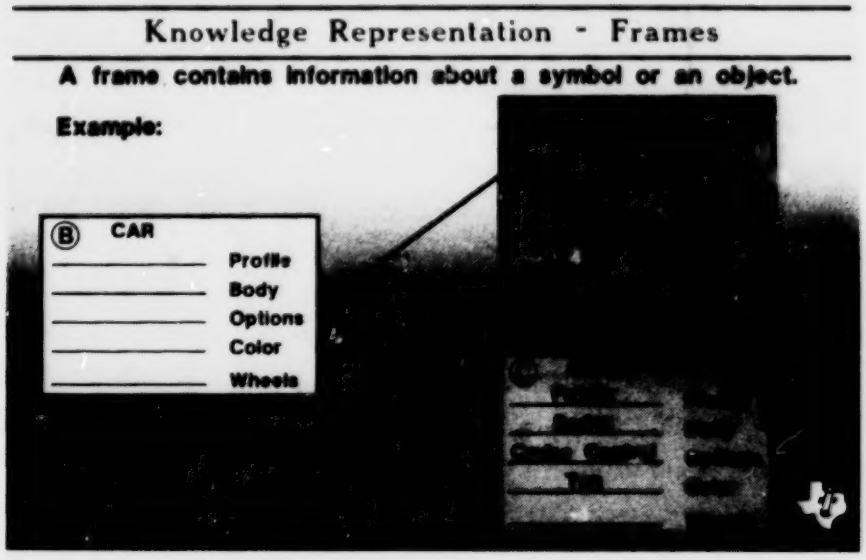


Fig. 6 Représentation de connaissances à l'aide d'un cadre sémantique

① **Représentation des connaissances - cadres sémantiques**

② **Un cadre contient des informations sur un symbole ou un objet**

Exemple :

Ⓑ **VOITURE**

Profil
Carrosserie
Options
Couleur
Roues

Ⓐ **MA VOITURE**

Sport	Profil
Coupé	Carrosserie
Toit ouvrant	Options
Rouge	Couleur
	Roues

Ⓒ **Voiture de Jean**

Familiale	Profil
Conduite intérieure	Carrosserie
Régulateur de vitesse	Options
Beige	Couleur
	Roues

KNOWLEDGE REPRESENTATION - SEMANTIC NETWORKS

Symbols and their relationships to each other
are represented in semantic networks.

Example:

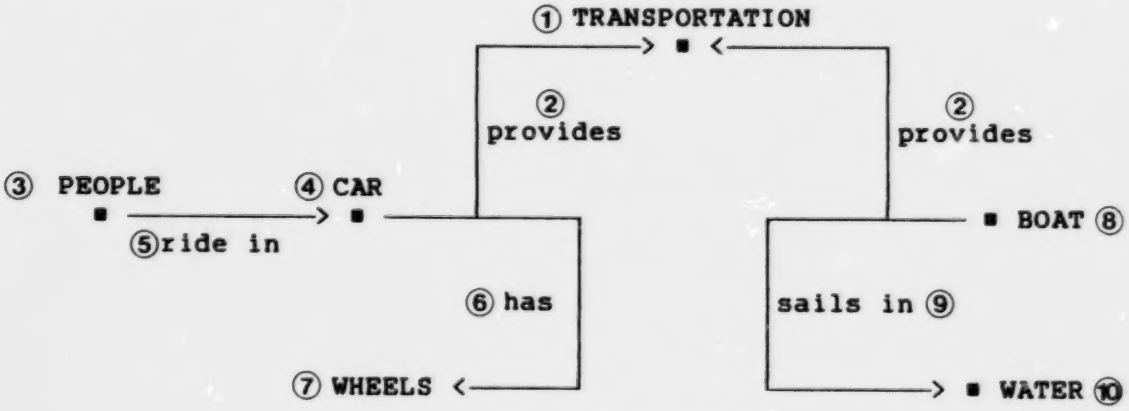


Fig. 7 Représentation de connaissances à l'aide d'un réseau sémantique

REPRÉSENTATION DES CONNAISSANCES - RÉSEAUX SÉMANTIQUES

Les symboles et les liens qui les unissent sont représentés dans des réseaux sémantiques

Exemple :

① moyen de TRANSPORT
② constitue
③ PERSONNE
④ VOITURE
⑤ conduit
⑥ a
⑦ ROUES
⑧ BATEAU
⑨ navigue dans
⑩ l'EAU

contrôlés, soit le chaînage avant et le chaînage arrière. Le chaînage avant, ou l'inférence inductive est le type de raisonnement déclenché lorsqu'on a des informations sur les données de la prémisse d'une règle. Par exemple, si on a les règles suivantes : "SI A, ALORS B" et "SI B, ALORS C", chaque fois que la condition "A EST VRAI" est communiquée au moteur d'inférence, le système conclut par chaînage avant que "C EST VRAI". Dans certains cas, le nombre de conclusions que le système peut tirer d'une prémisse initiale peut être très élevé et on obtient ce qu'on appelle une explosion combinatoire. Pour éviter cette situation, on fait appel au chaînage arrière ou raisonnement dirigé par le but. Dans ce type de raisonnement, l'élément déclencheur appartient à la conclusion. Reprenons l'exemple cité précédemment. "SI A, ALORS B", "SI B, ALORS C", il y aura chaînage arrière si on choisit la conclusion C et qu'on demande au système de vérifier si C EST VRAI. En exécutant un chaînage arrière à partir de la seconde règle, le système vérifie si B EST VRAI. Pour ce faire, il doit vérifier si A EST VRAI. Si A EST VRAI, alors B EST VRAI, et si B EST VRAI alors C EST VRAI. Le système peut alors répondre "oui" ou "non" à la question, selon la valeur de A. La technologie des systèmes experts laisse une certaine souplesse et permet le traitement et la saisie de connaissances publiques, contenues par exemple dans des manuels ou des livres, ou privées, notamment les connaissances d'un expert particulier. Les systèmes experts permettent aussi de diffuser l'expertise dans toute l'organisation ou d'assurer une plus grande uniformité à tous les niveaux de l'entreprise. Les connaissances spécialisées d'un expert peuvent être mises à la disposition des nouveaux employés, leur permettant ainsi d'acquérir de l'expérience plus rapidement, mais aussi de prendre plutôt des décisions éclairées, sans l'aide de l'expert humain.

Quand est-il approprié d'avoir recours à un système expert? Comme je l'ai mentionné précédemment, il faut premièrement que l'application touche un domaine restreint. Deuxièmement, il vous faut établir que peu de personnes peuvent résoudre les problèmes soulevés dans le domaine en question. Évidemment, si mille personnes peuvent faire le travail et que vous n'avez aucune objection à les payer, pourquoi utiliseriez-vous un système expert? Troisièmement, vous devez savoir si il y a un expert dans le domaine qui consent à participer à l'élaboration d'un système expert. Ce troisième élément est très important, car un système expert est essentiellement une reproduction

des connaissances d'un expert; vous devez donc avoir accès à l'original pour pouvoir réaliser la copie souhaitée. Ensuite, vous devez déterminer si le problème à résoudre est important, clairement définissable et de difficulté moyenne. Il n'est pas à conseiller que votre première application dans le domaine des systèmes experts touche un domaine très complexe. Il y a d'autres critères, par exemple le problème doit pouvoir être résolu par un traitement symbolique. Si votre problème peut être résolu par un simple modèle mathématique, vous n'avez pas besoin d'un système expert. La direction a-t-elle pris des engagements face à votre projet? Vous devez examiner ce point particulier, car un prototype réussi a l'avantage de convaincre la direction d'investir des sommes supplémentaires dans les applications IA. On retrouve des utilisateurs des systèmes experts dans des domaines très différents, notamment dans le diagnostic, la configuration, la planification, le contrôle, l'analyse et l'interprétation de données, la consultation par l'utilisateur, la planification, par exemple, la planification de projets ou l'établissement de prévisions budgétaires, la conception. Certains systèmes experts sont déjà reliés à des logiciels de conception assistée par ordinateur dans des applications architecturales ou techniques. Finalement, les systèmes experts se prêtent très bien à la formation, à l'enseignement et à l'explication.

Comment se lancer en intelligence artificielle est un sujet très bien traité sur les bandes magnétoscopiques du premier et du deuxième symposium sur les systèmes experts distribuées par la Texas Instruments. En bref, vous devez tout d'abord identifier le problème, de même que les personnes à former pour le résoudre à l'aide des techniques de l'intelligence artificielle. Vous devez ensuite élaborer un premier prototype, une maquette, pour matérialiser le concept. Ceci fait, la maquette étant approuvée par la direction, vous devez continuer à perfectionner le système en y intégrant d'autres connaissances et d'autres fonctions.

Comme je l'ai dit précédemment, CANMET a financé en 1986-1987 deux projets d'évaluation d'outil par prototypage. Sans vouloir voler la vedette aux conférenciers qui traiteront de ces deux sujets, je voudrais simplement revoir brièvement les conclusions qu'on a tiré de ces expériences. Le premier projet concerne une application dans une raffinerie de zinc où les outils choisis étaient un PC de IBM et squelette de système expert, Personal Consultant de

la Texas Instruments. Dans le deuxième projet, on a fait appel à une machine LISP, Explorer de la Texas Instrument, de même qu'au puissant squelette de système expert KEE, distribué par Intellicorp. Cette seconde application a été exécutée dans une cimenterie et consistait à simuler le raisonnement d'un expert lorsqu'il exécute des opérations de dépannage. De ces deux applications, on a tiré une conclusion très importante : il ne faut pas négliger la courbe d'apprentissage de l'outil. Dans le cas d'outils imposants et puissants comme KEE et Explorer de la TI, il faut assurer une formation de base considérable et compter de nombreux mois de pratique quotidienne avant de pouvoir exploiter à capacité les multiples fonctions de ces systèmes. Les squelettes de systèmes experts plus petits, le Personal Consultant par exemple ou les squelettes de systèmes experts très petits sur le marché, requièrent des périodes de formation beaucoup plus courtes, mais évidemment leur capacité d'inférence est de beaucoup inférieure et leurs fonctions beaucoup moins nombreuses. En résumé, je dirais que les avantages des gros outils sont les suivants : prototypage rapide, modification prompte du système, méthodes d'inférence souples, programmes utilitaires interactifs puissants. D'autre part, je pourrais énumérer les désavantages suivants : courbe d'apprentissage lente, coût élevé, difficulté d'exploitation sur un grand nombre de systèmes pleinement opérationnels, problèmes au niveau de la gestion de réseau. Les petits squelettes de systèmes experts, de même que les moyens présentent les avantages suivants : faculté d'apprentissage rapide, mise en exploitation rapide et gestion de réseau facile étant donné qu'ils sont exploités sur un matériel traditionnel, coût peu élevé. Par contre, ils sont rigides et offrent beaucoup moins de flexibilité pour ce qui est de la méthode d'inférence et ont très peu d'options interactives. Les conférenciers qui vont suivre vous entretiendront plus en détail de ces deux projets dont on parlera dans les publications scientifiques dès qu'ils seront terminés.

ÉLABORATION D'UN SYSTÈME EXPERT D'AIDE À LA DÉCISION POUR L'OPÉRATEUR D'UN PROCESSUS INDUSTRIEL DANS UNE RAFFINERIE MODERNE D'ÉLECTROLYSE DU ZINC RÉSULTATS PRÉLIMINAIRES

C. GHIBU, LAVALIN, MONTRÉAL
ET
D. DUPUIS, ZINC ÉLECTROLYTIQUE DU CANADA LIMITÉE
VALLEYFIELD (QUÉBEC)

Il me fait grand plaisir de vous communiquer aujourd'hui les résultats préliminaires du projet pilote sur l'application de la technologie des systèmes experts à la conduite de processus industriel. 20 % du projet est achevé : il a commencé en novembre 1986 et doit se terminer en mars 1988.
L'objectif de ce projet est d'élaborer un prototype de système expert d'aide à la décision pour l'opérateur qui voit à l'exécution d'un processus industriel complexe. Nous avons déjà conçu, programmé et mis en place, dans le monde entier, de nombreux systèmes de commande par ordinateur et nous considérons que ce projet est un prolongement naturel de nos efforts en matière de commande et de supervision.

HISTORIQUE

Au fil des années, Lavalin s'est constamment situé à l'avant-garde dans le domaine des applications informatiques industrielles. Ces efforts ont amené la mise en place de certains systèmes de commande les plus performants dans le traitement des eaux et la fabrication du ciment. Nous avons essayé d'élaborer et même de mettre partiellement au point des fonctions d'aide à l'opérateur qui ressemblent beaucoup à celles que nous voulons développer dans le présent projet, particulièrement dans une cimenterie aux États-Unis et dans une usine de filtration des eaux, au Canada. Comme nous nous sommes rapidement rendus compte des possibilités qu'offraient les systèmes experts, nous avons suivi de très près leur évolution. La première tentative d'im-

plantation d'un système expert a eu lieu à la fin des années 70. Après la conception du système, nous nous sommes rendus compte que le logiciel et le matériel disponibles à ce moment n'avaient pas la puissance requise. Aux environs de 1981, nous avons commencé la formalisation des connaissances techniques pour les appliquer à la conception assistée par ordinateur. Le principal résultat obtenu a été l'élaboration d'outils graphiques puissants, d'interfaces homme/machine et particulièrement, la compréhension des problèmes humains que soulève la mise en place d'un système informatique complexe. En 1984, de nouveaux outils d'élaboration de systèmes experts étant sur le marché et le coût de la puissance de calcul ayant diminué considérablement, nous avons réévalué notre démarche. Nous avons envoyé certains de nos experts suivre des cours de formation et avons testé chez nous de nombreux squelettes de systèmes experts. En mai 1986, nous avons organisé un séminaire sur les systèmes experts auquel on a participé avec beaucoup d'intérêt. Nous participons présentement à de nombreux projets qui font appel à la technologie des systèmes experts dont l'un fait même l'objet de la présente communication, un autre porte sur la manoeuvre du toit mobile du stade olympique, un autre, sur la formation des opérateurs et un quatrième, sur l'évaluation du coût des projets techniques.

OBJECTIFS

Les principaux objectifs de ce projet sont :

a) d'évaluer les outils disponibles, notamment les micro-ordinateurs et les outils de programmation, pour établir s'ils peuvent servir en direct à l'exécution d'une application d'aide à l'opérateur;
b) d'élaborer une méthode d'application de la technologie des systèmes experts à la conduite de processus industriel;
c) d'évaluer l'impact de cette technologie dans la salle de commande d'un processus industriel, complexe et continu. Je vous prie de noter que j'utilise les mots technologie des systèmes experts parce que nous sommes convaincus qu'il n'existe pas de systèmes experts "comme tels", mais plutôt des systèmes informatiques qui, pour exécuter leurs fonctions, utilisent la technologie des systèmes experts, de la même manière qu'ils se servent de l'animation graphique, des banques de données ou de la logique floue pour ne nommer que quelques-unes des technologies en cause.

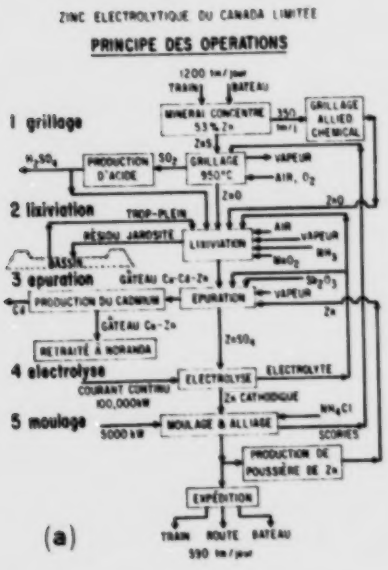
PARTICIPANTS

Ce projet se poursuit grâce aux efforts et à l'expertise de nombreux participants, dont CANMET, qui apporte son expérience dans l'élaboration et le transfert de la technologie de traitement du minerai; CEZ, une division de Noranda, qui dispose d'une expertise pratique, de même que d'une stratégie d'évaluation et de mise en place; le Conseil national de recherches Canada qui participe par l'intermédiaire du groupe d'ergonomie du laboratoire de développement de systèmes et nous aide à intégrer et à évaluer les répercussions du projet sur l'utilisateur humain. Maintement, j'aimerais vous présenter Monsieur Denis Dupuis, chef des opérations hydrométallurgiques à la Raffinerie de Zinc électrolytique du Canada Limitée, qui va vous parler de l'intérêt que porte sa société à ce projet.

PRÉSENTATION DE LA ZINC ÉLECTROLYTIQUE DU CANADA LIMITÉE

PAR D. DUPUIS

La Zinc Electrolytique du Canada Limitée appartient au groupe Noranda et à une capacité de 230 000 tonnes métriques de lingots de zinc par année, nous constituons le deuxième plus grand producteur au monde et représentons de 3 à 4 % de la capacité mondiale. Nous produisons quelques sous-produits, notamment 430 000 tonnes d'acide sulfurique et presque 500 tonnes de cadmium par année. Lorsque l'usine a été construite il y a plus de 25 ans, de nombreux emplacements ont été considérés et Valleyfield a été choisi pour au moins trois importantes raisons. Premièrement, on peut s'alimenter en énergie électrique, car on est tout près du canal de Beauharnois, deuxièmement, une main-d'oeuvre qualifiée est disponible, étant donné que nous sommes près de Montréal et finalement, il y a tout proche un réseau de transport complet, routier, ferroviaire et maritime, la voie maritime du St-Laurent étant proche. Je vais maintenant vous décrire brièvement notre procédé (figure 1). Notre matière première est un concentré de zinc contenant environ 50 % de zinc, 33 % de soufre et 10 % de fer. En un premier temps, les sulfures sont oxydés dans un four à griller à une température atteignant environ 900°C, le soufre



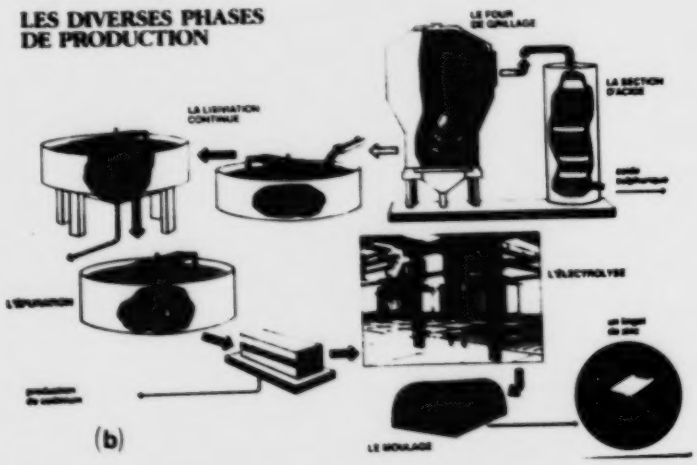


Fig. 1 (a et b)
Schéma du procédé de la Zinc électrolytique du Canada Limitée

est récupéré sous forme d'anhydride, converti en SO_3 et hydrate pour permettre la production d'acide sulfurique. Le zinc est mis en solution à la lixiviation, la solution à purifier est traitée à l'épuration, puis soumise à l'électrolyse. Le zinc est plaqué et les plaques de zinc sont fondues et moulues en différentes formes et grosseurs de lingots. Lorsqu'on parle de la partie hydrométallurgique de notre procédé, on réfère par définition à la lixiviation, à l'épuration et à l'électrolyse. À la lixiviation, le zinc est mis en solution en trois étapes, 80 à 85 %, au cours de la première étape, environ 15 %, au cours de la seconde et le reste, environ 5 %, au cours de la troisième étape. La troisième étape joue deux rôles. Elle permet de lixivier les ferrites de zinc et de précipiter le fer sous forme de jarosite d'amonium. Ce résidu de jarosite est lavé pour le séparer de cette solution riche en zinc puis entreposé dans des bassins. À l'épuration, la réaction principale en est une d'oxydoréduction entre la poussière de zinc métallique et les impuretés sous forme d'ions. Le cuivre, le cadmium, le cobalt et le nickel partent de la solution et sont cémentés. À l'électrolyse, le zinc passe d'une forme ionique en solution à une forme métallique qui prend forme d'une plaque sur la cathode d'aluminium. La solution est réchauffée par effet Joule et il faut la refroidir soit par des réfrigérants à vide ou des réfrigérants atmosphériques. Enfin, je dirais que le circuit d'électrolyse, de lixiviation et d'épuration est fermé, puisque l'acide sulfurique généré à l'électrolyse est recyclé à la lixiviation. Pour les producteurs de zinc et les opérateurs d'usines de zinc comme la nôtre la performance du procédé hydrométallurgique est mesuré de différentes façon. Par exemple, à la lixiviation nous voudrons connaître le pourcentage de zinc qu'on réussit à mettre en solution. Durant les bonnes périodes, cette valeur atteindra 99 %, tandis que durant les moins bonnes périodes, elle peut baisser jusqu'à environ 97 %. À l'épuration, nous voudrons évidemment connaître la concentration en impuretés, cette concentration devant être inférieure à 1 milligrame par litre dans le cas du cadmium, à 0,2 milligramme par litre dans le cas du cobalt et à 0,1 milligramme par litre dans le cas du cuivre. À l'électrolyse, on veut, en outre, calculer le rendement en termes d'énergie électrique, qui est d'environ 92 % durant les très bons mois et atteint un minimum de 87 %. Un autre critère sert à mesurer la performance générale, soit le pourcentage de temps durant lequel l'usine fonctionne à pleine capacité.

Ce chiffre peut varier de 85 à 97 ou 98 %. Chacun de ces critères a d'importantes répercussions économiques pour l'usine et nous devons atteindre régulièrement les niveaux d'efficacité élevés que j'ai mentionnés précédemment. Pour ce faire, nous avons une stratégie à trois volets. Tout d'abord, nous avons entrepris, il y a un an, un programme de formation des nos opérateurs. Ils suivent présentement des cours de chimie élémentaire et suivront éventuellement des cours de chimie appliquée à leur section bien spécifique. Ensuite, nous nous proposons d'informatiser et d'automatiser notre procédé afin entre autres d'éliminer certaines tâches répétitives comme la prise des échantillons, la filtration et l'analyse, pour accélérer le transfert des données qui est actuellement exécuté manuellement. Finalement, et c'est pourquoi nous sommes ici aujourd'hui, nous nous proposons d'ajouter un système expert grâce auquel on pourra s'assurer que les décisions prises par nos opérateurs sont les meilleures et remplacer la maintenance corrective actuelle par une maintenance préventive. Je passe maintenant la parole à Monsieur C. Ghibu qui reprendra son exposé sur le projet des systèmes experts.

STRATÉGIE

Étant donné qu'il s'agit d'un projet de recherche et de développement, nous avons choisi de procéder étape par étape pour contrôler l'avancement des travaux et si nécessaire revenir en arrière sans causer de dommages trop importants. Voici les étapes que nous avons choisies :

1) le ciblage c'est-à-dire la définition du projet
2) la réalisation d'une maquette ou d'un prototype rudimentaire permettant d'évaluer les décisions prises durant le ciblage
3) le prototypage.

Au cours du ciblage, il nous faut définir les fonctions du système, l'utilisateur, son domaine et son niveau d'expertise et l'interface avec l'utilisateur et répondre à certaines questions de base notamment quel est l'expert, son domaine et son niveau d'expertise? Quelle expertise sera extraite d'autres sources que l'expert? Comment le système sera-t-il évalué? Quels sont les

meilleurs outils d'élaboration du prototype? La question principale étant d'établir les priorités dont il faut tenir compte lors de l'élaboration de ce système expert?

Nous avons précisé trois grandes directions pour l'usine de la ZEC.

Il faut premièrement identifier les tendances, c'est-à-dire interpréter les variations de données en fonction du contexte. Trouver la tendance avant que celle-ci devienne un problème ou cause un arrêt de la production. En second lieu, il faut diagnostiquer les problèmes eux-mêmes, c'est-à-dire trouver la cause de la tendance ou du problème observé. Troisièmement, il faut mettre à la disposition de l'opérateur un système qui le conseillera sur les décisions qu'il doit prendre. Pour réaliser ces objectifs, nous avons choisi l'architecture présentée à la figure 2. Le premier élément de notre système recueille les données et les paramètres du procédé et produit des rapports qui permettent de vérifier la performance du procédé et du système expert. Le

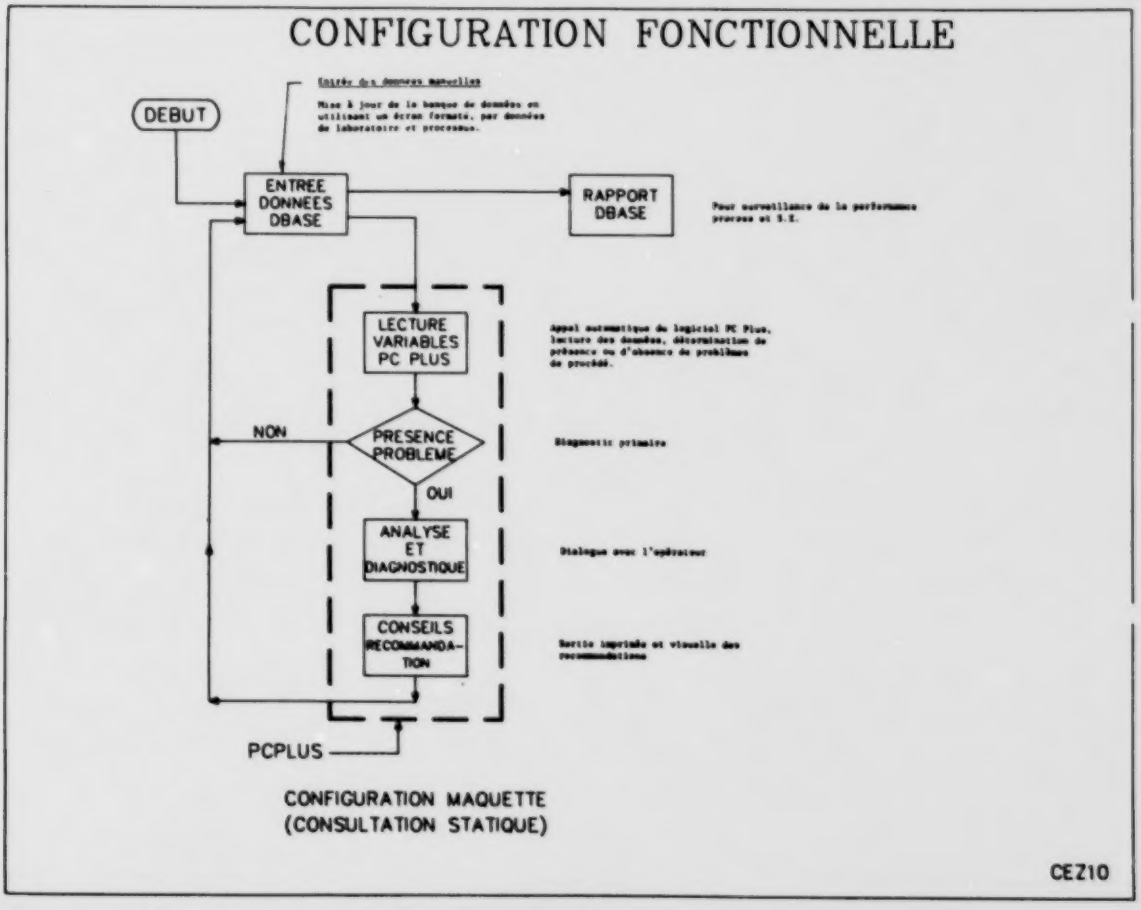


Fig. 2 Architecture du prototype de la ZEC

système expert se compose de deux parties dépendantes, la première étant le module de diagnostic primaire qui fonctionne en permanence en boucle fermée et ne fait rien d'autre que détecter uniquement la détection des tendances dans le processus, car nous nous sommes rendus compte que la détection et l'identification des tendances est un élément très important de l'exploitation d'une usine de ce genre. Si cette première partie détecte les tendances, qui ne satisfont pas aux règles, elle les communique ensuite au second module qui pose un diagnostic détaillé et donne des conseils à l'opérateur. À la suite d'un dialogue avec l'opérateur, le système expert émet une série de conseils sur les mesures à prendre. Que l'opérateur suive ces conseils ou non voilà un élément qu'il nous faudra étudier au cours des étapes ultérieures. Nous sommes persuadés que les systèmes experts seront utilisés à l'intérieur de systèmes de commande centraux, plutôt que comme systèmes autonomes, car d'autres éléments du système de commande automatique devront les alimenter en paramètres numériques ou en valeurs symboliques. Nous pourrons utiliser des valeurs et des observations qui d'habitude ne sont pas intégrées aux systèmes de conduite de processus industriel, notamment l'aspect du liquide dans le décanteur qui peut être rougeâtre, blanc neige, etc. Des notions qui jusqu'à ce jour n'étaient pas employées comme paramètres d'exploitation. Je crois que la vraie richesse des systèmes experts, est qu'ils peuvent utiliser les informations que l'opérateur juge très utiles à l'exécution du procédé. Parlons maintenant d'une autre notion très importante incorporée au système expert : toute valeur dont le système se sert pour prendre une décision a un degré de confiance qui donne un niveau de certitude à la conclusion du raisonnement. Par exemple, le système peut avertir l'opérateur que fort probablement le décanteur numéro 2 fonctionne mal et ce avec 80 % de certitude. À ceci, nous pouvons ajouter l'âge des paramètres. Le degré de confiance que nous accordons à ces paramètres est fonction de l'âge de ceux-ci.

Je dirai maintenant quelques mots sur les outils de programmation que nous avons choisis. Après avoir évalué quelques squelettes de systèmes experts sur le marché, nous avons arrêté notre choix sur le Personal Consultant Plus, commercialisé par la Texas Instruments pour la version initiale du prototype. Nous ignorons encore si nous le choisirons pour le prototype final, pleinement

opérationnel. Selon nous, le choix de ce premier outil d'élaboration n'est pas critique, car lorsque nous en atteignons les limites, les connaissances accumulées jusqu'à ce point peuvent être facilement transféréres dans un autre squelette de système expert, mieux adapté. Par conséquent, contrairement à ce qu'on prétend généralement dans les cercles commerciaux, nous croyons que l'élément clé est la collecte des connaissances d'un expert et non l'outil de traitement de cette connaissance.

OUTILS DE PROGRAMMATION

Nous avons examiné les squelettes de systèmes experts suivants :

- Expert-Easy
- Insight-II
- Bon pour les applications procédurales et de diagnostic
- Nous l'avons utilisé pour diagnostiquer les robots programmables PB-400 de Merlin-Gerin

L'EXPERT

- Squelettes de systèmes experts développé en France et ayant des fonctions de raisonnement par chaînage avant et arrière
- Utilisation d'environ 1000 règles sur un PC
- A servi à la formation des opérateurs des cimenteries

RULE-MASTER

- Ensemble d'outils de développement de systèmes experts spécialisés dans le diagnostic et la conduite de processus
- Les règles sont déduites à partir d'exemples
- Utilisation des facteurs d'incertitude et de la logique floue
- Liaison facile avec d'autres systèmes écrits en C

PC +
(Personnel
Consultant Plus)

- Approprié pour l'établissement de la maquette
- Réduit la convivialité et la puissance
- Suffisamment souple
- Raisonnement logique - Chaînage avant
  Chaînage arrière
- Riche définition des paramètres
- Interface acceptable avec le mondc• extérieur
- Utilisation de graphiques non animés
- Service assuré par le fournisseur et mise à jour permanente
- Fonctionne aussi sur des machines plus puissantes
- Trop lent sur un 8087. Acceptable sur un 80286. Assez bien sur un 80386
- Ne permet pas de faire de la compilation
- Les cadres ne sont en fait que des modules.

*INTELLIGENCE COMPILER

- En cours d'évaluation. Semble prometteur,mais le test est encore incomplet

MACHINE

IBM XT
ABM AT
COMPAQ 386

- ES/P - Advisor
- OPS-83
- Flops
- Rule-Master
- PC + (1)
- Intelligence-Compiler (2)

(1) Choisi pour la maquette
(2) À l'étude

DESCRIPTION DES SQUELETTES DE SYSTÈMES EXPERTS

Expert-Easy	- Facile à utiliser. Idéal pour faire une première expérience avec cette technologie - Déduit des règles à partir d'exemples - Ne permet aucune liaison avec le monde extérieur - Bon outil de structuration de la connaissance
OPS-83	- Plus un langage qu'un outil de programmation - Peut servir à de nombreuses applications différentes, mais nécessite beaucoup de programmation
FLOPS	- Très puissant pour les systèmes à logique floue et pour le traitement de coefficients de certitude spéciaux - Peut communiquer avec d'autres programmes à des fins de transfert de données ou à l'intérieur d'une procédure
M.1	- Émane de Emycin - basé sur le raisonnement - Avec chaînage arrière - Utilise des règles de type SI... ALORS... avec des coefficients d'incertitude - Permet la modification de la méthode d'inférence - Offre un bon interface avec l'utilisateur
ES/P ADVISOR	- Écrit en PROLOG - Inférence mixte (chaînage arrière dans les paragraphes, chaînage avant entre les paragraphes) - Permet des ajouts et des modifications en PROLOG - Aucun coefficient d'incertitude

MACHINE	
(XT) - 8086	Trop lent pour servir à l'élaboration mais peut supporter une petite application de consultation

(AT) - 80286 Acceptable pour l'élaboration et assurer une consultation correcte

(COMPAQ)

- 80386 Bon pour l'élaboration. La mémoire de 640K adressable par DOS constitue une contrainte

Nous allons passer à 2 mégabytes.

OBJETS DE L'EXPERTISE

- Identification des tendances; interprétation des variations de données en fonction du contexte
- Diagnostic des problèmes :
  - trouver la cause de la tendance ou d'un problème existant
- Conseil aux opérateurs
  - conseiller les opérateurs sur les mesures à prendre

PARAMÈTRES

Pour déclencher le raisonnement qui amène l'identification des tendances et des problèmes, le système doit se servir de paramètres de procédé.

Nous avons remarqué que ces paramètres sont différents de ceux employés par les systèmes de commande classiques ou dans les rapports de production.

PRINCIPALES DIFFÉRENCES ENTRE LES VARIABLES DE COMMANDE TRADITIONNELLES

(1) Valeurs symboliques
    Couleurs
    Qualité
(2) Degré de certitude

(3) Âge

- Les données de laboratoire sont employées dans le système.
- Les observation de l'opérateur deviennent des paramètres sur lesquels se basent les mécanismes de raisonnement
- Les règles de jugement génèrent des paramètres d'état employés par les mécanismes de raisonnement

PHASES DU PROJET

Durant l'établissement de la maquette, le système n'est pas relié au procédé.

Les données sur le procédé sont introduites par l'opérateur qui par la même occasion produit les rapports de procédé.

Durant la seconde étape, les données seront directement recueillies par un système de conduite réparti.

ÉVALUATION DE LA PERFORMANCE

Durant l'élaboration du système expert, il faut suivre l'évolution des travaux et évaluer la qualité des résultats obtenus. Ces évaluations doivent être faites au bon moment à l'aide de critères et de techniques bien définies. Une méthode d'évaluation de piètre qualité peut ruiner un projet d'élaboration valide.

Une évaluation bien pensée motive l'équipe et permet d'éviter les impasses.

L'évaluation doit être prévue de façon explicite et exécutée durant toute la durée du projet.

Si les critères établis durant le ciblage changent, il faut en informer toutes les personnes concernées.

L'évaluation du système se fera à deux niveaux. Il y aura donc évaluation

(1) De la performance technique
(2) Et de l'acceptabilité du système dans le milieu industriel

Comme les systèmes experts affectent un domaine jusqu'à maintenant considéré comme strictement réservé à l'être humain, on peut s'attendre qu'ils susciteront des réactions très fortes.

Le présent prototype du système expert que nous avons élaboré est en montre au kiosque d'exposition et nous serons heureux de vous faire une démonstration.

ÉLABORATION D'UN PROTOTYPE DE SYSTÈME EXPERT DESTINÉ À L'AIDE AU DIAGNOSTIC DANS UN ATELIER DE BROYAGE CLINKER EN CIMENTERIE

J. VANDERSTICHELEN, CIMENTS CANADA LAFARGE
MONTRÉAL

Mesdames et Messieurs, c'est presque une disquette qui va vous parler parce que je suis l'expert, l'ingénieur automaticien dont on se sert pour développer le prototype de système expert pour le circuit de broyage clinker. Tout d'abord, je voudrais vous projeter un film qui présente un peu l'industrie cimentière et la fabrication du ciment dans son ensemble.

BANDE MAGNÉTOSCOPIQUE SUR LE CIMENT PORTLAND, TRANSCRIPTION

La plupart des cimenteries sont installées au voisinage des sources de matières premières. Fort heureusement, même en ces temps où les richesses naturelles s'épuisent, ces matières premières se trouvent encore en grande quantité un peu partout. D'épais dépôts de pierre calcaire, sous diverses formes, fournissent le calcium, principal ingrédient du ciment. À partir de gisements d'argile, des schistes et d'ardoise, on obtient les composés de silicium, d'aluminium et de fer essentiels à la fabrication du ciment. Les matériaux sont généralement extraits par abattage en carrière ou extraction de surface et transportés à la centrale de concassage, qui permet de réduire des montagnes en fine poudre. Les blocs de roche extraits des carrières sont déversés directement dans les concasseurs primaires pour être réduits à une taille appropriée à la manutention et au stockage, soit en fragments de la grosseur du poing. Pour économiser l'énergie, certaines cimenteries acheminent les gaz chauds du four directement dans les concasseurs primaires et le sécheur rotatif, lorsque la teneur en eau des matières premières est élevée. La roche est généralement acheminée du concasseur vers un broyeur secondaire qui la réduit en fragments de 2 cm environ. La pierre ainsi concassée est ensuite transportée vers des aires de stockage où chaque constituant est stocké séparément. On procède ensuite à l'analyse en laboratoire des matières

premières afin de déterminer le dosage approprié de calcaire, de schiste, d'argile, de fer ou des autres matières nécessaires à la production du ciment portland. Dosé et homogénéisé automatiquement, le mélange est mis en réserve en vue de la prochaine étape importante de la fabrication : le broyage des matières premières ou la préparation des constituants pour la cuisson. Les matières premières, appelées le cru, sont finement pulvérisées dans d'immenses broyeurs rotatifs.

Dans ce modèle de broyeur à rouleaux, on voit comment les lourds rouleaux broient la matière en l'écrasant contre les parois de la table rotative. Un jet de gaz chauds, provenant du four ou du refroidisseur de clinker, évacue les fines particules de la partie supérieure vers un collecteur de poussière ou un silo de stockage. Le broyage du cru peut également se faire dans un broyeur cylindrique à boulets ou à tiges, où la finesse de broyage voulue pour la cuisson s'obtient par le choc de milliers de boulets d'acier entraînés par la paroi du cylindre et retombant sur le produit à broyer. Comme le démontre le modèle, nous avons suivi le processus de préparation des matières premières par la voie sèche. Elles sont maintenant introduites dans un long four pour y être transformées en nouveaux composés minéraux. Les cimenteries utilisent la voie sèche en présence de matières premières ayant une faible teneur en eau, ou possédant d'autres caractéristiques favorables à ce procédé. Certaines cimenteries utilisent une voie semi-sèche, selon laquelle les matières premières sont déposées sur un grand plateau granulateur tournant et additionnées d'eau. Le mélange s'agglomère en petites boulettes exemptes de poussière qui sont soumises à un pré-chauffage avant d'être introduites dans le four. En présence de matières premières à forte teneur en eau, on procède généralement par voie humide. Ici, l'eau est ajoutée aux matières premières dans le broyeur, qui produit ainsi un mélange crémeux appelé pulpe, qui est échantillonné et transféré par pompage dans des réservoirs de malaxage ou de stockage. Le malaxage se poursuit jusqu'à ce que le mélange soit prêt pour la cuisson. Le four rotatif constitue le coeur même de la cimenterie : constitué d'un long cylindre métallique en pente, revêtu intérieurement de briques réfractaires, il comporte un brûleur à sa partie basse. Le cru, sous forme de boulettes ou de pulpe, est introduit dans la partie haute où, sous l'action d'une chaleur intense, il subit des transformations chimiques. Par suite de la rotation du four, le cru se mélange, et glisse vers la partie

basse, où se trouve le brûleur. L'eau, puis le gaz carbonique, en sont extraits à mesure de l'augmentation de la chaleur. Les silicates de calcium, les aluminates de calcium et les autres constituants qui confèrent au ciment portland sa cohésion et sa résistance sont alors formés. Au maximum, le mélange peut atteindre une température de plus de 2700 °F ou 1400 °C. Au sortir du four, le mélange transformé en granules incandescents de la taille d'une bille, sera devenu un nouveau produit : le clinker. Dans le but d'économiser l'énergie, un certain nombre de cimenteries procèdent aujourd'hui au pré-chauffage des matières premières, opération assurée essentiellement dans une série de compartiments horizontaux ou de chambres verticales à cyclone que le cru doit traverser, en s'échauffant progressivement. La chaleur des gaz amorce les réactions chimiques nécessaires, réduisant à une heure ou moins la durée de séjour du cru dans le four. Certaines installations de pré-chauffage par suspension comportent un four auxiliaire de pré-calcination qui permet des économies additionnelles de combustible. Tenu en suspension dans un écoulement turbulent de gaz chauds, le cru peut perdre jusqu'à 95 % du gaz carbonique qu'il contient. Le produit décarbonaté ou calciné est séparé des gaz à la quatrième étape, puis passé dans un four rotatif de faible longueur où s'achève en moins d'une heure sa transformation en clinker. L'utilisation du four court signifie une augmentation de la production, la réduction des pertes de chaleur par rayonnement et, parce qu'il requiert moins de combustible que le four long, des coûts moindres de remplacement des revêtements réfractaires. Grâce à l'utilisation de ces systèmes très efficaces de pré-chauffage, un grand nombre de cimenteries ont pu doubler leur production tout en réduisant de façon substantielle leur consommation de combustible par tonne de ciment produit. Et afin d'économiser encore davantage les réserves de gaz naturel et de pétrole, l'industrie se tourne presque exclusivement vers le charbon pour la cuisson du ciment. Dans la salle de contrôle centrale, toutes les étapes de la production, depuis le concassage des matières premières jusqu'à la cuisson au four, du stockage du ciment jusqu'au contrôle de la pollution, sont commandées et réglées automatiquement. Grâce à des systèmes informatiques, les préposés peuvent obtenir instantanément toutes les informations nécessaires sur les activités de l'usine. Le contrôle des procédés, l'exploitation, et même la surveillance des alarmes, sont également assurés automatiquement. Transporté hors du four sur une grille mobile, le clinker incandescent pourra passer par une longue chambre

où de puissants ventilateurs assurent son refroidissement. L'air ainsi réchauffé est acheminé de nouveau, par conduits, vers le four ou les chambres de pré-chauffage pour servir d'air de combustion, ou, s'il s'agit d'un refroidisseur du type planétaire ou satellite, le clinker incandescent tombe dans des tubes disposés symétriquement. L'air de refroidissement pénètre par des ouvertures pratiquées dans les tubes, extrait la chaleur du clinker, et est réutilisé intégralement comme air de combustion. La lutte contre la pollution est assurée par des séparateurs électrostatiques, des batteries de filtres à sacs, ou des lits filtrants en gravier, qui captent les particules dans les effluents gazeux avant leur dispersion dans l'atmosphère. Ces dispositifs sont installés dans les cimenteries, à tous les endroits susceptibles de polluer l'air. Ce contrôle strict des émissions permet d'assurer des normes élevées de qualité de l'air. Le clinker refroidi pourra être transporté vers le lieu de stockage, envoyé ailleurs pour broyage, ou passer directement à la dernière étape de production du ciment. Avant le broyage final du clinker, on y ajoute un peu de gypse, ingrédient qui régularise la prise du ciment. À l'étape du broyage final, le clinker est amené à une très grande finesse, en particules de l'ordre du micron, soit de 1/25 000 de pouce de diamètre. On a donc maintenant obtenu du ciment portland, une poudre si fine qu'elle passe facilement dans un tamis capable de retenir l'eau. Au cours du processus final, le ciment fraîchement broyé est soumis à plusieurs essais visant à assurer sa conformité à des normes strictes de qualité. De la centrale de broyage, le ciment est transporté ou pompé dans de hauts silos de stockage où il sera conservé jusqu'à son expédition. La majeure partie du ciment en vrac est expédiée directement aux clients, par camions ou wagons de chemin de fer. Le chargement s'effectue par gravité au silo, à l'aide de goulottes permettant de remplir de grandes citernes en quelques minutes. Une faible part du produit fini est encore ensachée dans des sacs de papier brun, et expédiée aux consommateurs qui utilisent de petites quantités de ciment. Des machines semi-automatiques emplissent et scellent les sacs en trois secondes. Des navires ou des barges assurent le transport du ciment en vrac ou en sacs, à partir des cimenteries situées en bordure des cours d'eau, jusqu'aux points de distribution.

DESCRIPTION DU PROTOTYPE

Je voudrais maintenant vous parler de notre projet, du prototype que nous avons développé. Il s'agit d'un projet qui s'étendait sur une période de quatre mois et dont le but était de bâtir un prototype de système expert destiné à l'aide au diagnostic des défauts dans un atelier de broyage clinker. Vous l'avez vu tout à l'heure dans le film, c'est la dernière étape de la fabrication du ciment. Pour développer ce prototype, nous avons utilisé une machine LISP et un Explorer de la Texas Instruments qui utilise le système de développement KEE, commercialisé par Intellicorp. Nous nous sommes servis du programme d'apprentissage d'UNISYS pour nous familiariser avec ces deux puissants outils de prototypage. Ce projet s'est appuyé sur l'expérience de l'Université Laval, particulièrement celle du Groupe de Recherche en Application de l'Informatique à l'Industrie Minérale (GRAIIM).

Les objectifs de ce projet ont été les suivants. Tout d'abord, on voulait étudier le potentiel de cette technologie pour l'industrie cimentière. Mais évidemment, la cimenterie étant un processus assez complexe, on s'est limité à une partie du procédé soit au broyage du ciment, et on s'est tourné plus particulièrement vers le diagnostic de problèmes. Donc l'outil utilisé est KEE/Explorer. On voulait également apprendre à évaluer la technique de structuration et de regroupement de la connaissance dans un domaine bien particulier. Il faut savoir que le groupe Lafarge-Coppee comprend une quarantaine de cimenteries et que l'expertise est effectivement très dispersée dans ce groupe. Il est intéressant pour nous d'avoir un regroupement de cette expertise. D'autre part, il est aussi intéressant que cette expertise soit disponible au niveau de chaque usine. Le projet a commencé par un programme de formation qui consistait en deux semaines d'apprentissage du langage et de la machine, donc KEE et LISP, et ensuite, en trois mois d'un programme d'apprentissage qui consistait en une aide dans le développement d'un prototype de système expert.

Je voudrais maintenant vous parler un peu du software KEE, qui est un outil très très complet et très intéressant. Dans cet outil, KEE, nous avons donc tout d'abord une structure de données qui permet d'entrer toute la connaissance statique du système, qui permet d'entrer les appareils avec toute une

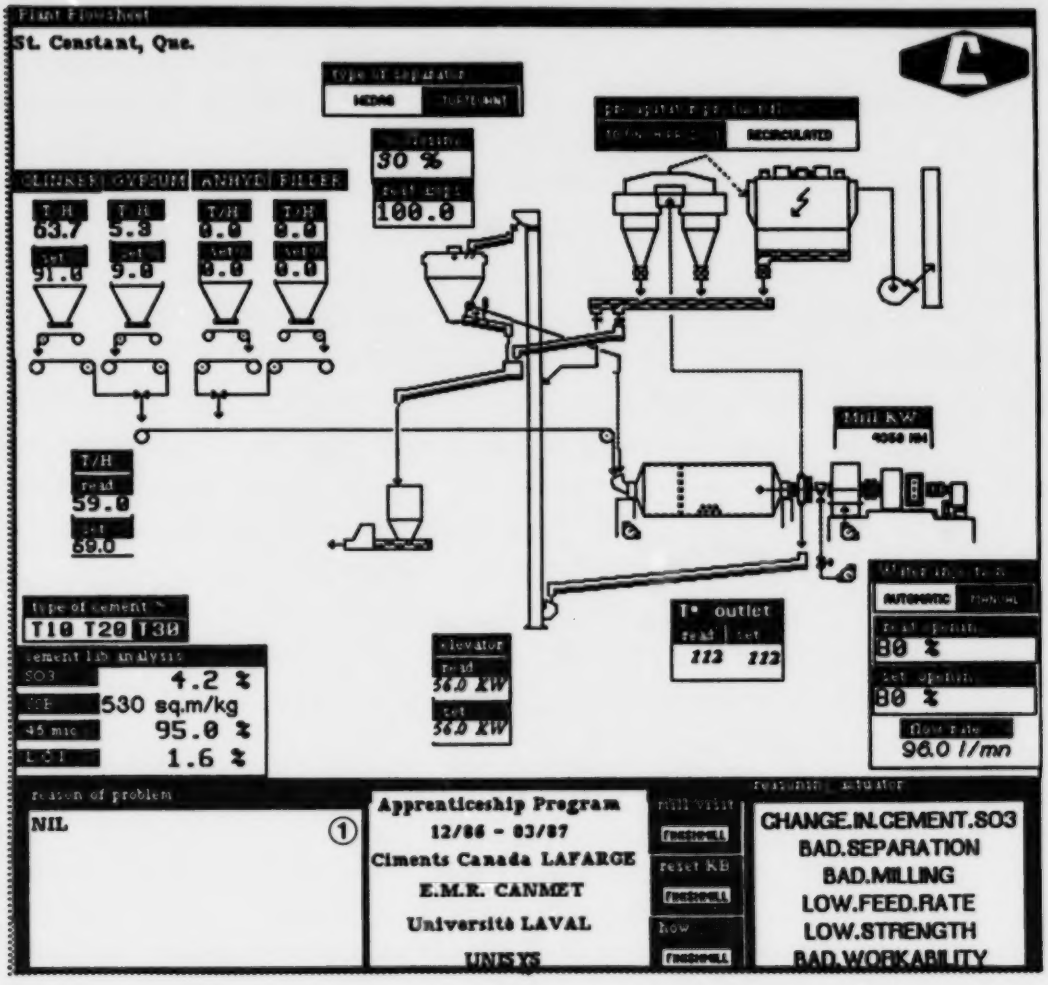


Fig. 1 Interface homme machine - circuit de broyage du ciment

① Système d'apprentissage
Ciments Canada Lafarge
Énergie, Mines et Ressources, CANMET
Université Laval
UNISYS

série de propriétés et qui offre cette possibilité de classer les appareils en classes, en sous-classes et en membres et d'attribuer à chaque classe d'appareils certaines propriétés qui sont communes à toute la classe et ces propriétés se transmettent à tous les membres de la classe. Il peut aussi y avoir des propriétés propres à chaque appareil qui elles ne se transmettront pas. Évidemment, comme Daniel l'a dit tout à l'heure dans son exposé, les valeurs peuvent être soit transmises, soit non transmises, selon des lois d'héritage bien déterminées. KEE offre aussi une structure qui permet d'introduire toutes les règles qui sont en fait les connaissances heuristiques du système étudié. Dans KEE, il existe un langage qui permet d'entrer ces règles sous une forme qui ressemble beaucoup à l'anglais. On peut remarquer certaines limites dans l'écriture de ces règles qui ne sont pas tout à fait "english like". Vous voyez apparaître certaines réminiscences de LISP pour par exemple, introduire des relations inférieures ou supérieures. Donc vous voyez les règles sont sous la forme IF... THEN (SI...ALORS), c'est assez classique et dans KEE vous pouvez ajouter une certaine action à faire par le système lors du raisonnement si la règle est vérifiée. Une limite dans l'écriture de ces règles, c'est que nous n'avons pas la possibilité dans KEE de pouvoir utiliser le ELSE, ce qui nous a forcés à écrire pas mal de règles négatives pour contourner ce problème.

KEE offre aussi la possibilité d'introduire un peu de programmation classique, sous forme de méthodes. Ces méthodes permettent de faire des calculs, permettent de faire une gestion de l'écran, de faire à peu près tout ce qu'on peut faire en programmation classique mais en LISP. KEE est aussi évidemment un moteur d'inférence très puissant qui permet tous les types de raisonnement, avant, arrière, en largeur, en profondeur. KEE offre toutes ces possibilités, que l'on peut combiner très facilement au sein même d'un même raisonnement. KEE offre aussi une interface qui est assez agréable pour l'utilisateur. Il y a toute une série d'images qui sont proposées. Vous voyez ici le schéma d'un broyage à ciment qui est en fait l'interface que l'utilisateur a à sa disposition pour utiliser la machine LISP. On s'est limité dans le développement de ce prototype aux problèmes qui arrivent dans un atelier de broyage clinker, donc le dernier stade de la fabrication du ciment. C'est un atelier qui est assez standard dans toutes les cimenteries et ses deux composantes

principales sont un broyeur et un séparateur. Ce sont les deux grands appareils et aussi les deux sources de problèmes dans le broyage du ciment. Le matériel qui entre dans le broyeur a une granulométrie de type assez grossière, de l'ordre de 2 centimètres de diamètre et à la sortie, nous retrouvons un produit fini qui est d'une dimension inférieure à 45 microns.

Le prototype a été développé pour étudier en fait deux grandes classes de problèmes. Tout d'abord des problèmes de production et des problèmes de qualité. Dans les problèmes de production, nous nous sommes limités à une baisse de débit, l'explication d'une baisse de débit. Les problèmes de qualité ont été traités plus en profondeur, en allant de la mauvaise résistance, variation de composition chimique et mauvaise maniabilité du ciment. Alors voyons maintenant le fonctionnement du prototype. Ça fonctionne comme suit. L'opérateur, celui qui utilise le système expert, doit entrer dans l'interface toutes les valeurs qui sont disponibles dans la salle de contrôle. Il doit aussi entrer les analyses courantes qui sont effectuées dans les laboratoires de l'usine et doit aussi signaler au système le problème rencontré. Le système raisonne de la façon suivante. Il utilise d'abord les informations qui sont disponibles dans la salle de contrôle et tente d'effectuer un diagnostic et de trouver la cause du problème. S'il n'y arrive pas, s'il n'a pas suffisamment d'informations à sa disposition, il va tenter d'orienter, avec les informations qu'il a, le raisonnement de la deuxième étape. Cette deuxième étape, elle est la suivante. Dans une usine, on effectue régulièrement des visites des ateliers et, à partir de là, sont établis des rapports de visite qui sont disponibles pour tout expert dépanneur. Il est important d'entrer ces rapports de visite dans le système. Le système à partir de ces données va essayer d'inférer pour trouver une solution à ce problème. La troisième étape du raisonnement, c'est que le système n'a pas pu trouver de solution au problème et à ce moment là, il va commencer par demander des informations complémentaires à l'opérateur. Ces informations complémentaires peuvent être des analyses chimiques complémentaires, des visites visuelles des ateliers ou alors carrément, un arrêt d'atelier ou une visite interne des appareils. À partir de là, le système tente d'effectuer, de poser un diagnostic. La quatrième étape suit la troisième, si au bout de la troisième le système n'a pas réussi à trouver une solution au problème, et elle sert à vérifier la compatibilité des informations et à détecter les

éventuelles informations défectueuses. Nous avons donc bâti ce système de règles, environ 250, dans l'optique du diagnostic, donc en utilisant les règles en chaînage arrière. Mais il est tout aussi possible d'utiliser le système en prédiction. Nous n'avons pas beaucoup développé cette possibilité, mais enfin nous l'avons testée pour quelques cas et cela a l'air de marcher pas trop mal, quoi qu'il y ait une certaine réserve; dans certains cas, il faut ajouter des règles supplémentaires pour effectuer un chaînage avant ou arrière avec le même jeu de règles. Ceci laisse supposer qu'idéalement il faudra peut-être préparer deux jeux de règles différents; un pour le chaînage arrière, le diagnostic, et un autre, pour le chaînage avant ou la prédiction. Nous avons aussi étudié la possibilité de méthodes auxiliaires en LISP et ça s'est avéré un peu difficile, mais nous y sommes quand même arrivés. Enfin nous avons utilisé la possibilité de particulariser le circuit à différentes usines, nous avons essayé de changer le type de séparateur et d'utiliser avec chaque type de séparateur un jeu de règles bien déterminé.

Je pense que le temps qui m'a été imparti commence à s'écouler très sérieusement alors je vais en venir directement aux conclusions. Le potentiel de ce système expert dans le domaine cimentier sont importantes et variées. On les a abordées, je ne dirais pas toutes, mais un grand nombre, dans l'étude de ce prototype. Ce potentiel va de la vérification assistée dans un atelier de broyage, à la conduite d'un procédé, mais néanmoins, il faut bien se rendre compte que cette technique nécessite des investissements très importants d'où la nécessité pour la haute direction d'évaluer les répercussions de l'utilisation de cette technologie sur le groupe. Nous avons pu dans cette étude toucher les nombreuses possibilités de KEE, un outil de développement extrêmement puissant et en cela, je pense que l'utilisation de systèmes dédiés à l'intelligence artificielle est au niveau prototype extrêmement importante pour la rapidité de développement, mais nous avons vu quand même certaines limites dans KEE dont nous avons parlé tout à l'heure. Quant au matériel que nous avons utilisé, nous avons constaté que la capacité de mémoire de 2 mégabytes est un peu trop faible pour KEE et notre base de données et entraînait parfois une saturation de l'appareil. Je voudrais aussi mentionner une collaboration efficace avec Frédéric Flament de l'Université Laval, nous avons défini et introduit quelques 250 règles en trois mois. Merci de votre attention.

RAISONS ÉCONOMIQUES JUSTIFIANT LA PRÉSENCE DES SYSTÈMES EXPERTS DANS LES CONCENTRATEURS

G.M. SWINKELS
INGÉNIEUR CONSEIL
VANCOUVER

J'aimerais examiner avec vous les raisons économiques qui justifient l'application de la technologie IA dans notre industrie. Mes exemples portent sur des concentrateurs, des usines de traitement du minerai, mais mes remarques s'appliquent tout aussi bien à d'autres types d'installations, par exemple aux fours de grillage. Elles s'appliqueront de moins en moins à d'autres industries, comme à l'industrie chimique, qui somme toute ont des problèmes différents. Je m'en tiendrai à la conduite de processus; je ne parlerai pas des problèmes de maintenance, de gestion, des problèmes financiers ou d'exploration. Je voudrais cependant ouvrir une parenthèse, vous faire remarquer que l'expression "intelligence artificielle" est terriblement vague. Comme on l'a mentionné précédemment, je préfère de beaucoup parler de traitement symbolique, car le traitement est exécuté avec des mots, plutôt qu'avec des nombres. Pour quelqu'un qui travaille dans une usine, le mot "tendance" est aussi très important, l'un des principaux problèmes étant la reconnaissance de certaines tendances. C'est pourquoi l'intelligence artificielle est si importante : elle nous permet tout simplement de reproduire les raisonnements que tient l'opérateur dans son travail quotidien. Je ne veux pas reprendre certaines notions clés dont Daniel nous a parlé dans son exposé, mais j'aimerais en souligner certaines. Une des plus grandes qualités d'un expert est qu'il sait reconnaître ses limites, nous dire "je ne sais pas, consultez quelqu'un d'autre". Le système expert devra donc pouvoir faire de même.

Parmi les diverses tâches que les systèmes experts peuvent exécuter, j'aimerais souligner le diagnostic. Le mot diagnostic peut avoir deux sens. Il peut s'agir du diagnostic médical. Vous êtes malade et vous vous rendez chez le médecin. Celui-ci dispose immédiatement d'un élément d'information très valable. Vous êtes venu le voir parce que vous êtes malade. Dans le cas du

diagnostic de procédé, la situation est quelque peu différente. C'est comme si le docteur se promenait, observait et recommandait au patient de se rendre à l'hôpital consulter quelqu'un car d'après les symptômes observés il semblerait malade. Les systèmes experts sont excellents pour poser des diagnostics de procédé, tout comme pour assurer le contrôle heuristique. Vous avez déjà entendu cette expression. Je me permets quand même de reprendre ici cette définition.

C'est un contrôle qui s'appuie sur des règles de jugement et non sur des algorithmes numériques et des modèles mathématiques. Le contrôle heuristique fait appel à des concepts comme "un peu", "pas mal", "beaucoup", des concepts flous. Je voudrais vous mentionner une autre fonction des systèmes experts, la fonction d'enseignement et d'aide. L'ordinateur et le système expert peuvent servir de professeur ou d'assistant. Finalement, j'aimerais vous énumérer quelques applications auxquelles les systèmes experts pourraient se prêter. Par exemple, pour pallier au manque de personnel qualifié, d'opérateurs ou encore ce qui est très fréquent pour constituer une mémoire d'entreprise (figure 1). Vous avez toute cette expertise dans votre organisation. Et voilà, la personne s'en va et vous allez perdre toute cette expertise. En pratique, comment allez-vous faire pour garder cette expertise? Vous la consignez dans des rapports, que très peu de gens lisent où qu'ils soient. Un système expert s'avère donc un excellent endroit où stocker cette expertise.

APPLICATIONS PERTINENTES

- **manque de personnel qualifié**
- **trop de possibilités**
- **besoin d'une expertise polyvalente**
- **besoin d'excellence**
- **besoin d'une mémoire d'entreprise**

Fig. 1 Applications pertinentes des systèmes experts

PROBLÈMES SOCIO-GÉOGRAPHIQUES

- **quelques ateliers isolés**
- **faible nombre d'employés**
- **travail par poste**
- **roulement de personnel**

Fig. 2 Problèmes sociaux et géographiques justifiant l'application des systèmes experts

Maintenant, j'aimerais énoncer la proposition suivante. La conduite de processus est une opération complexe et un bon opérateur est un expert. À partir de là je voudrais vous démontrer que le mode de commande présentement utilisé dans nos usines n'est pas adéquat et que les systèmes experts pourraient améliorer la conduite de processus. Certains problèmes sociaux et géographiques expliquent pourquoi il est difficile pour une installation de traitement du minerai de garder son expertise et de s'en servir au moment opportun et à l'endroit approprié (figure 2). La plupart de nos usines de traitement du minerai sont isolées, contrairement aux usines de traitement chimique ou pétrochimique. Le marché pour les opérateurs experts est par conséquent, très restreint dans notre industrie. Quand on parle d'isolement, cela peut vouloir signifier deux choses. D'une part, il se peut qu'aucune installation semblable ne se trouve à proximité et d'autre part, l'usine peut être physiquement située à des milliers de milles des centres urbains rendant ainsi difficile le recrutement des opérateurs. En outre, à cause de certaines conditions économiques, les concentrateurs doivent fonctionner avec un faible nombre d'employés; il est donc difficile d'avoir toute l'expertise sur place. Comme les équipes travaillent par poste, on souhaite aussi uniformiser l'expertise d'un poste à l'autre. Dans l'industrie minérale, le roulement de personnel est très élevé, très souvent à cause des conditions de travail très difficiles et de l'éloignement. Chaque fois qu'un nouvel opérateur est engagé, la compagnie doit investir pour le former : cet investissement est perdu lorsque l'opérateur s'en va. Voilà donc une autre raison qui fait des systèmes experts une solution très intéressante. Passons maintenant aux arguments techniques.

Je voudrais tout d'abord vous faire remarquer que le succès de la conduite de processus industriel n'a pas été aussi retentissant dans les usines de traitement du minerai qu'il l'a été dans les raffineries. Ceci est principalement dû au fait que les matériaux de base que l'on trouve dans la nature ont des compositions très différentes. Pire encore, très souvent il nous est impossible de mesurer et de classer les variations de ces matériaux. Nous pouvons donc faire une critique constructive de la méthode de commande traditionnelle pour y déceler des lacunes auxquelles les systèmes experts pourraient remédier. La question n'est pas de substituer les systèmes experts aux systèmes de conduite de processus industriel, mais plutôt de les utiliser conjointement. Voyons ce que fait le système de conduite de processus industriel.

Une boîte noire résout itérativement une équation différentielle du deuxième degré toutes les 40 ou 10 secondes, selon le cas, pour modifier le procédé. Comme vous le savez, il y a aussi les ingénieurs chargés des appareils de contrôle et de mesure qui tournent autour du système et règlent les contrôleurs pour tenir compte de certaines variations dans la substance de base. Les paramètres de réglage des contrôleurs sont le volume, la granulométrie ou d'autres propriétés de la substance de base. Il est cependant impossible de régler les contrôleurs en fonction de toutes les variations possibles de la substance de base. C'est ici que le système expert peut intervenir. Certaines modifications de l'exploitation peuvent être prises en compte, mais par exemple, dans le cas où la récupération est une fonction du deuxième degré de la quantité d'agent moussant ou de cyanure utilisé comme dépressant, si cette courbe change, nous avons alors une situation désastreuse. Le contrôleur peut supposer qu'il a une courbe ascendante et que s'il augmente la quantité de cyanure la récupération va augmenter, alors qu'en réalité, la courbe n'est plus ascendante mais descendante et en augmentant la quantité de cyanure, le contrôleur réduit davantage la récupération. La conduite de processus industriel suppose un modèle qui est le plus souvent en réalité faux. Si on examine les systèmes de conduite de processus industriel on remarque qu'aucun d'entre eux n'atteint ses limites de façon progressive. À un moment donné, le système réagit sans tenir compte de la réalité et l'opérateur doit assurément l'arrêter. Souvent, on suppose qu'il y a un rapport entre la teneur du minerai et la récupération et l'on vise une certaine teneur et une certaine récupération (figure 3).

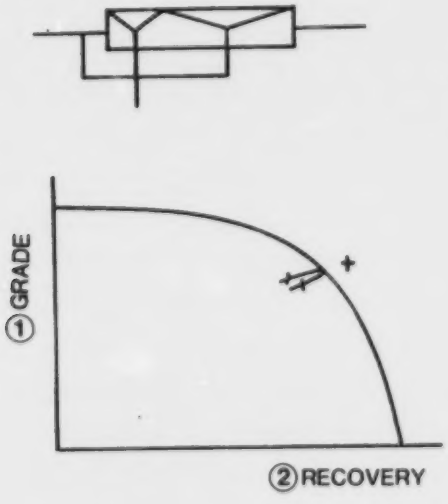


Fig. 3 Courbe traditionnelle teneur/récupération
① Teneur ② Récupération

Le choix d'un point cible à l'extérieur de cette courbe teneur/récupération peut soulever de nombreux problèmes dans un système de conduite de processus industriel traditionnel. La situation est aussi dramatique lorsqu'il y a arrêt du procédé. Dans ce cas, le système de conduite de processus industriel traditionnel amène d'autres complications. Évidemment, ces systèmes sont dotés d'un certain nombre de dispositifs d'alarme pour faire face à de telles éventualités, mais ces mécanismes ne sont déclenchés que dans quelques situations. C'est pourquoi un opérateur expert s'avère utile, car lorsqu'il a détecté un signal d'alarme, il s'attend à ce quelque chose d'autre se produise dix minutes après ce signal d'alarme. Si ce n'est pas le cas, il soupçonne que quelque chose ne va pas. Ce type de raisonnement ne peut évidemment pas être tenu par un système de conduite de processus industriel traditionnel, pas plus que par un opérateur absent. Les systèmes de conduite de processus industriel sont limités d'une autre façon. En effet, il n'y a pas de capteurs suffisamment résistants pour servir dans notre milieu. Ces systèmes sont inutiles durant les périodes d'arrêt ou les situations d'urgence. Il y a donc des cas où les systèmes de commande traditionnels n'apportent pas à l'opérateur l'aide dont il a besoin. C'est là que les systèmes experts peuvent jouer un rôle important.

Voyons finalement ce en quoi les systèmes experts excellent (figure 4). Tout d'abord, ils peuvent vérifier la cohérence de votre système de conduite de processus traditionnel industriel. Si à une intervention donnée vous prévoyez un certain résultat, le système expert peut vérifier si vous obtenez réellement le résultat prévu. Si ce n'est pas le cas, il suspend l'exécution du système traditionnel. Le système expert peut aussi vérifier le système de commande lui-même pour s'assurer que le procédé fonctionne toujours comme le suppose le système de commande. Le système expert peut aussi assurer la conduite du processus. On signale déjà des applications de ce genre pour la commande de fours et de cimenteries. J'aimerais maintenant mentionner deux autres modules qui pourraient servir éventuellement à l'application des systèmes experts. Dans un premier temps, il s'agit d'un module procédural, le système expert aidant à l'exécution de procédures complexes notamment la mise en route d'une usine et dans un deuxième temps d'un module de diagnostic plus puissant qu'un module d'application rigoureuse de règles. Le module de diagnostic auquel je fais ici allusion assure la conformité entre ce que l'usine

devrait être et le concept établi. Ceci est très intéressant, car c'est précisément là que les travaux exécutés par CANMET dans le cadre du projet SPOC pourraient servir à leur juste valeur. Certains systèmes experts sont exploités en temps réel dans des usines qui appartiennent à EXXON et à SHELL et probablement à d'autres, quoi que ce soit difficile à établir, les compagnies ne révélant que rarement ce type de renseignement.

COMMANDE ASSURÉE PAR LE SYSTÈME EXPERT

- **contrôle de la cohérence**
- **vérification de la conduite du processus**
- **conduite du processus**

- **module de diagnostic**
- **module procédural**

Fig. 4 Systèmes experts appliqués à la conduite de processus

J'aimerais maintenant parler un peu de la façon dont un opérateur et un système expert dialoguent. Pour le moment, avec les systèmes de commande traditionnels, il n'y a aucune interaction. Le système de commande s'appuie sur des modèles mathématiques sur lesquels l'opérateur n'a aucune main mise. Il laisse le système faire ce qu'il a à faire. Avec un système expert, l'opérateur peut demander des explication et les obtenir. En outre, les règles que l'opérateur découvrent peuvent être par la suite ajoutées au système qui réagira ensuite selon les règles qu'il connaît. Je suggère que parmi les raisons d'élaborer des systèmes experts on trouve par dessus tout, la prévention des erreurs.

La formation des opérateurs est un autre point important (figure 5). On dépense de grosses sommes pour les former ou pour corriger les erreurs dues à leur manque de compétence.

Pour conclure, j'aimerais vous citer l'exemple d'un système expert qui simule la commande d'une chaudière de récupération dans l'industrie du papier (figure 6). Ce projet a été commandé par une organisation de pâtes et papier américaine qui se sert de ce système expert pour former les opérateurs avant de leur donner accès à cet équipement très coûteux. Merci de votre attention.

TÂCHES GÉNÉRALES

- compréhension de signaux d'alarme
- diagnostic
- centralisation des informations
- conception et planification
- contrôle heuristique
- agent intelligent

- enseignement et assistance

Fig. 5 Tâches générales que l'on peut confier aux systèmes experts

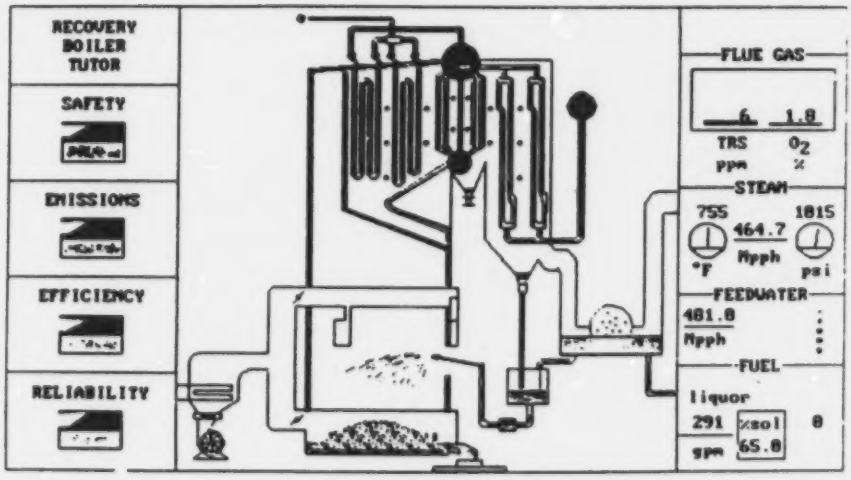


Fig. 6 Exemple d'une interface entre l'utilisateur et un système expert de commande d'une chaudière

OUVERTURE DE LA SÉANCE DE L'APRÈS-MIDI

D. LAGUITTON
CANMET
OTTAWA

Mesdames et Messieurs bonjour et bienvenue à notre séance de l'après-midi. Nous allons entendre trois exposés donnés par des fabricants de produits IA. Ce sont eux qui nous promettent que la mise en application de leur technologie donnera des résultats positifs. J'inviterais les utilisateurs à saisir cette occasion et à formuler toutes les questions qu'ils se posent sur leur domaine. J'aimerais vous lire quelques citations sur lesquelles les conférenciers de cet après-midi pourraient s'exprimer ou faire des observations. J'ai puisé la première dans le numéro de Datamation de mars 1987, dans le compte-rendu d'une entrevue accordée par Michael Blumenthal, le nouveau président de UNISYS. L'auteur écrit et je cite "la compagnie a pour le moment mis de côté les projets d'élaboration de produits IA entrepris par Burroughs et Sperry". C'est une déclaration importante et comme nous avons la chance d'avoir parmi nous un représentant de UNISYS, demandons-lui ce qu'il en pense. Une autre citation, que je n'ai pas en main, mais dont je me souviens, est tirée du Automation News du 16 février 1987, d'un article dans lequel l'auteur se demande si l'intelligence artificielle passe réellement du laboratoire à l'usine. Il s'étonne du fait que de nombreuses compagnies d'intelligence artificielle ont atteint un plateau sur la courbe des profits au début de 1987. Je cite "l'intelligence artificielle serait-elle comme un dauphin échoué sur un banc de sable? Intelligent, mais incapable de se mouvoir?". J'aimerais à nouveau inviter les conférenciers de cet après-midi à s'exprimer sur cette question. Finalement, je voudrais vous lire une citation tirée du Canadian Research de mars 1987, d'un article sur l'intelligence artificielle. Je dois vous le dire, car il se peut que vous ne vous en rendiez pas compte si je me borne à la lire. La voici "Les propos que vous pouvez échanger avec votre micro-ondes pourraient se situer à un niveau plus élevé que la conversation que vous pourriez avoir avec l'un de vos amis". Je regrette que ce

type de mythologie circule et dans ce cas particulier, il s'agit probablement d'une réflexion beaucoup plus sur la qualité des échanges de l'auteur avec ses amis que sur la qualité de son four micro-ondes.

TRANSFERT DE L'EXPERTISE DANS LES SYSTÈMES EXPERTS

D. BROADHURST
UNISYS CORP.
WINNIPEG

L'article publié dans le magazine Datamation s'appuie sur une recherche que l'auteur a effectuée quatre mois avant sa publication. Il n'a pas repris les observations de Monsieur Blumenthal. En réalité, Monsieur Blumenthal n'a jamais rien dit de ce genre. Si quelqu'un veut que nous mettions cela par écrit, nous le ferons. Cependant l'article soulève une question sérieuse "L'intelligence artificielle est-elle une industrie?" C'est difficile à dire. Lorsqu'on regarde les faits, on peut dire que c'est une industrie en difficulté, qui décline rapidement. Si on évalue les possibilités, c'est définitivement une industrie; le futur de l'industrie en général. Le fait qu'on soit passé du traitement des données au traitement des connaissances signifie que nous ne traitons plus seulement 10 % de l'information, les données, mais aussi les 90 % qui restent; notre marché vient donc tout juste de se multiplier par 10, c'est là l'avenir. Nous sommes suffisamment informés pour comprendre que notre compagnie a pris une décision stratégique très importante lorsqu'elle a choisi de s'engager dans cette technologie. De plus, nous sommes assez avisés pour adopter une attitude critique. Fait intéressant à noter, le programme canadien qu'on voit ici à l'oeuvre influence considérablement cette évaluation, car le Canada réalise des progrès énormes. En réalité, la position dans laquelle le Canada se trouve globalement lui permet de profiter de cette technologie. Je voudrais aussi me présenter, vous dire à quel titre je suis ici. Tout d'abord, vous savez que Unisys provient de la fusion de Sperry, Univac et Burroughs. Ceux qui sont du côté de Univac, notre filiale japonaise porte toujours ce nom, disent que Univac est toujours le fournisseur de Unisys. Nous sommes une grosse compagnie, avec 125 000 employés et des ventes annuelles dépassant 10 milliards de dollars. La fusion est importante, car dans notre industrie une compagnie évaluée à 5 milliards

de dollars peut disparaître du marché en très peu de temps. La seule stratégie de survie est donc la suivante : l'entreprise doit d'abord être importante, ce qui lui assure la structure et le financement dont elle a besoin pour évaluer la technologie et se développer. Capitaliser sur le savoir : voilà une expression clé. C'est pourquoi je la formule et l'affiche (figure 1). Plus un produit ou un procédé est hautement technique, plus une technologie entièrement nouvelle est susceptible de le rendre facilement désuet. J'ai travaillé pendant environ 18 ans dans l'industrie minérale avant de venir chez Unisys. J'étais l'expert en flottation. Je le mentionne parce que j'ai l'impression d'être avec des collègues. J'ai passé tellement de

CAPITALISER SUR LE SAVOIR

Plus un produit ou un procédé est hautement technique, plus l'apparition d'une technologie entièrement nouvelle ou l'application plus ingénieuse d'une technologie existante est susceptible de le rendre facilement désuet.

Fig. 1 Capitaliser sur le savoir

temps à concevoir des procédés, à mettre sur pied des usines, etc. Les points qu'on a soulevé sur le produit brut puisé dans la nature ou provenant de l'industrie et son impact sur le mode de traitement m'intéressent beaucoup, car j'ai touché à presque tous les procédés imaginables ici au Canada dans une petite compagnie, mettant ces technologies en application dans 65 compagnies réparties dans le monde. Je sais ce que c'est que d'arriver tout jeune dans une compagnie et de prendre la relève de l'expert. Le technicien qui n'a précédé, Reginald Schmidt, avait 30 ans d'expérience et voilà que moi à 22 ans j'arrive. J'ai procédé à une extraction de connaissances, j'essayais de tirer de Reginald Schmidt ce qu'il savait sur notre technologie exclusive. J'ai aussi dû subir les attitudes prétentieuses de Reginald Schmidt. Reggie et moi sommes devenus de très bons amis environ trois ans plus tard, mais les trente premiers mois ont été très épineux. C'était ma première expérience avec le génie cognitif, quoique à cette époque j'ignorais tout de l'intelligence artificielle. Vous lisez tous la diapositive suivante : un article sur l'intelligence artificielle (figure 2) publié dans le dernier numéro du magazine enRoute.

enRoute

C'est alors que les questions cruciales deviennent: sur quoi doivent faire cap les entreprises canadiennes dans les 10 prochaines années? Où sont les perspectives d'avenir?

Ces trois personnages, ce sont Robert Arnold Russel, futurologue de l'ère de l'information ainsi qu'auteur, conférencier et consultant dans le domaine des affaires; Ralph Fisher, associé principal chez Laventhol & Horwath, comptables agréés et conseils en administration, et passé maître en planification stratégique ainsi que Dan Sullivan de PanFinancial Services Inc. dont la spécialité est de proposer à ses clients des stratégies génératrices de prospérité.

Pour tous trois, l'avenir fait très réellement partie du présent, aussi paradoxal que cela paraisse. La préoccupation principale de Robert Russel est de suivre à la trace les technologies nouvelles et de dresser, à l'intention des sociétés commerciales, des stratégies propres à les faire s'adapter aux changements apportés par ces technologies tout en les maîtrisant. Le plus souvent, il s'agit de se préparer à modifier du tout au tout la manière dont elles transigent.

Ralph Fisher: Avant de m'attaquer à ces questions, il faut, je crois, placer la situation actuelle dans un contexte quelconque.

Pour commencer, les règles de base des affaires n'ont pas changé tant que ça, ce qui a changé, par contre, et considérablement, c'est leur envergure.

Bref, pour les entreprises canadiennes, assurer l'avenir consiste à se débarrasser de leurs œillères nationales pour se rendre compte qu'elles vivent dans un world planetaire—pour vendre non seulement des produits mais des techniques et du savoir-faire—un world où l'on fait commerce de capitaux, d'expertise et de technologie.

Assurer l'avenir, c'est aussi constater que ce qu'on vend est également une optique des affaires axée sur la communication. C'est un peu comme le transhumer. Ce que les Européens vendent, c'est une optique de production, de marketing et de gestion qui leur a réussi et peut s'appliquer à d'autres situations. L'essentiel est que cette optique soit transplantable.

• Des logiciels pour systèmes experts capables d'évaluer les différences qualitatives et de compléter ou remplacer les appels au discernement des cadres moyens.

• Des réseaux de surveillance d'ordinateurs qui peu coûteux, ti compactes et structurés qu'ils supplanteront tous les claviers et qu'on pourra y avoir accès de partout par les systèmes de communications actuels et non-cavs.

• Des ordinateurs de traitement de la voix capables de répondre à des questions orales et de traduire instantanément des langues étrangères.

Les conséquences seront stupéfiantes pour les gens d'affaires de chez nous tous ceux qui parviendront à adapter aux changements et les maîtriser seront en position concurrentielle parfaite dans le monde. Voici quelques nouvelles prévisibles.

Dan Sullivan: J'aimerais dire d'abord que les gens d'affaires canadiens doivent se rendre compte que deux nations commerçantes sont à l'œuvre dans le monde. Le premier est celui de l'économie traditionnelle de biens et de services dont les racines plongent dans la terre, la mer, l'argent et le capital. Ce système agit à l'intérieur des frontières nationales sous la réglementation des politiques gouvernementales.

C'est dans le second système que nos industriels trouveront un potentiel énorme. Celui de l'économie de connaissances planétaires qui s'exerce sur les champs électromagnétiques par-delà les frontières nationales dans les lieux mêmes où les capitaux se meuvent et où, 24 heures sur 24

Fig. 2 Article tiré du magazine enRoute

Cet article est important; on y cite des personnes comme Russel, Fisher et Sullivan. Pour eux, les Canadiens doivent surtout rechercher les technologies qui créeront des ouvertures ici, dans l'économie locale en évolution. Dans un article paru dans le Globe and Mail ces derniers jours, Alcan déclare que l'industrie de la métallurgie est faible. Vous savez l'industrie minière est stable, mais si on regarde les statistiques on réalise que cela dépend de comment on peut compter sur nos ressources. Nous savons en outre que nous nous acheminons vers une économie fondée sur les biens, les services et les connaissances. Il est important de ne pas oublier que les systèmes experts sont les éléments qui vont nous permettre de profiter de cette économie ou d'y jouer un rôle. Si nous nous en servons aujourd'hui, ils nous vaudront une position stratégique dans cette révolution. La question n'est pas que l'intelligence artificielle est promue à l'excès, même si en Europe il y a un séminaire toutes les 36 heures et probablement deux par jours aux États-Unis, mais plutôt qu'elle n'est pas assez répandue (figure 3). Les gens ne l'utilisent pas. Les exemples cités ici aujourd'hui sont très intéressants; c'est un début, un premier pas dans notre industrie. Peut-être que l'an prochain nous aurons en main des chiffres sur le taux de rendement du capital investi dans les systèmes experts appliqués chez ZEC et Lafarge.

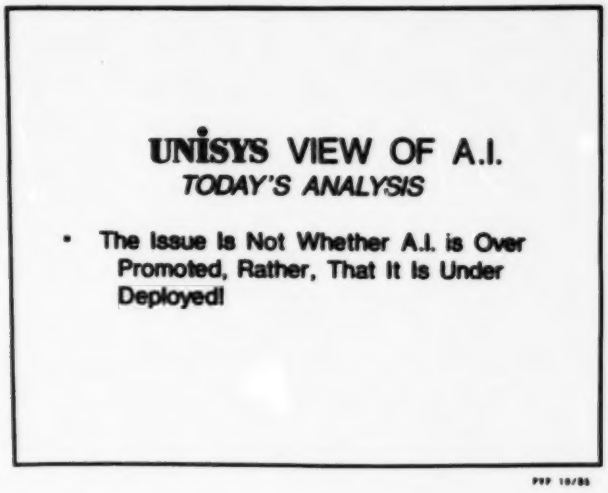


Fig. 3 Point de vue d'Unisys sur l'I.A.

POINT DE VUE D'UNISYS SUR L'I.A. DERNIÈRE ANALYSE

La question n'est pas que l'intelligence artificielle est promue à l'excès, mais plutôt qu'elle n'est pas assez répandue.

Nous connaissons, vous le savez, le taux de rendement du système que nous avons bâti avec la Northwest-Orient Airlines et dans lequel ils utilisent un système expert pour fixer le prix des fauteuils de la classe économique. S'ils peuvent faire payer plein tarif une place en classe économique sur 25 % de leur vol, ils peuvent prévoir une augmentation totale de 12 millions de dollars. Dans l'aviation commerciale, il est impossible d'augmenter le nombre de passagers et de réduire les coûts d'exploitation. Il n'y a pas de place pour l'amélioration, ou seulement dans des secteurs secondaires. D'où toutes ces faillites, cette compétition, ces fusions. Alors comment améliorer la performance de votre corporation pour que celle-ci puisse se développer. Vous ne pouvez toucher que l'efficacité; ce secteur auquel s'est attaquée la Northwest en modifiant le prix des places. Notre compagnie a été la première à relier un moteur d'inférence à un ordinateur central 1100. Maintenant, toutes les autres compagnies aériennes s'engagent dans cette voie. Pour illustrer combien il est difficile d'assurer le transfert du savoir, il faut d'abord comprendre que pour enseigner à quelqu'un comment faire un noeud, il faut compter environ un mois. Enfant, lorsque vous avez appris à attacher

vos espadrilles, il a fallu environ un mois. Le langage nous impose de nombreuses barrières. La transmission du savoir est aussi très difficile à réaliser. Vous apprenez aujourd'hui que les systèmes experts relèvent de la technologie et ne sont pas un produit. Je ne serais pas surpris d'apprendre que beaucoup d'entre vous l'ignoraient ce matin, lorsque vous êtes entré dans cette salle. Vous pensiez qu'il s'agissait de quelque chose que vous pouviez acheter, prendre sur une tablette. Nous avons ici une technologie dont on voit un peu partout les manifestations, qu'on peut mettre en application en médecine, dans l'industrie minière, dans le monde des finances et dans toutes sortes de secteurs. Nous avons découvert qu'il s'agissait d'une technologie lorsque nous nous sommes rendus à 3M Corporation et avons décidé de nous engager dans l'intelligence artificielle. Ils nous ont laissé savoir que c'était important pour eux, que l'intelligence artificielle était plus importante que la chimie, et ils ont à leur service 38 000 chimistes. Ils nous ont demandé "Comment peut-on fabriquer des systèmes experts "jetables", à utilisation unique? 3M fabrique des pansements, du ruban adhésif, du papier de verre, etc., elle sait ce que "jetable" veut dire. Nous disposons d'une technologie qui pourrait résoudre des problèmes énormes, comme celui de la NASA avec un épurateur, l'épurateur d'oxygène d'une de leur navette spatiale, problème qu'elle n'a pu résoudre en huit ans et auquel elle a trouvé une solution, en trois semaines et demie, en faisant appel à l'intelligence artificielle. Nous avons une technologie, nous nous sommes rendus compte que nous pouvions l'utiliser pour résoudre définitivement un problème.

Voyons brièvement les qualités des personnes qui se servent des systèmes experts. Ici, j'inclus la direction. Au début, nous envisagions l'intelligence artificielle du point de vue d'une compagnie informatique, nous avions sous-estimé sa puissance comme outil de gestion. Les outils de prise de décision et de consultation dont la haute direction se sert sont en réalité des formes élémentaires de l'intelligence artificielle. Aujourd'hui, nous nous sommes intéressés plus particulièrenment à l'exploitation, probablement à d'autres secteurs aussi. C'est dans ce secteur que ça commence. Vous savez qu'Unisys emploie un grand nombre d'ingénieurs compétents. Si on regarde la structure de notre compagnie, on s'aperçoit que la majorité de nos employés viennent de Détroit et de Minneapolis, principalement de la communauté technique. Nous orientons l'utilisation de cette technologie. C'est ce que les ingénieurs font. Ils prennent une technologie et la rendent utilisable.

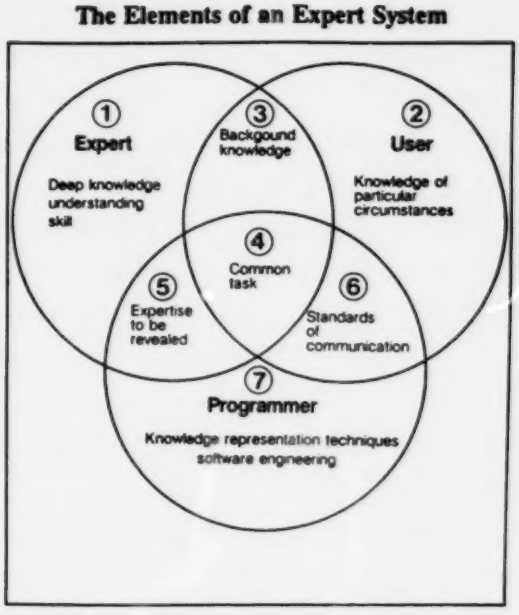


Fig. 4 Les éléments d'un système expert

① Expert
Connaissance approfondie
Compréhension
Compétence

② Utilisateur
Connaissances particulières

③ Connaissances de base

④ Tâche commune

⑤ Expertise à communiquer

⑥ Normes de communication

⑦ Programmeurs
Techniques de représentation des connaissances
Conception de logiciels

Notre but est de voir cette technologie utilisée; nous ne sommes pas intéressés à la perfectionner. Les universités, MIT, Carnegie-Mellon, Stanford, Waterloo, l'Université de T etc., voient à faire avancer la technologie. Nous prenons ces perfectionnements et les transformons en applications pratiques.

Pour le moment, il y a trois éléments de base, c'est évident (figure 4). L'utilisateur en est un. Nous n'en avons pas beaucoup parlé. Je m'y attarderai maintenant car il se trouve de l'autre côté, il reçoit la technologie. Il y a deux aspects, deux volets. Tout d'abord, il y a le transfert de la technologie de façon qu'on la comprenne et ensuite, un aspect plus important à long terme, la façon dont l'utilisateur se sert de cette technologie. Remettre les connaissances entre les mains de l'utilisateur dans un système expert. Sur la figure suivante (figure 5), on peut lire qu'en 1984, selon

---

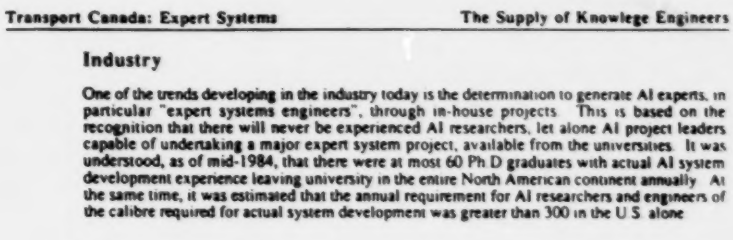

Transport Canada: Expert Systems
The Supply of Knowlege Engineers
Industry
One of the trends developing in the industry today is the determination to generate AI experts, in particular "expert systems engineers", through in-house projects. This is based on the recognition that there will never be experienced AI researchers, let alone AI project leaders capable of undertaking a major expert system project, available from the universities. It was understood, as of mid-1984, that there were at most 60 Ph.D graduates with actual AI system development experience leaving university in the entire North American continent annually. At the same time, it was estimated that the annual requirement for AI researchers and engineers of the calibre required for actual system development was greater than 300 in the U.S. alone

Fig. 5 La formation des cogniticiens

Transport Canada : Systèmes experts

La formation des cogniticiens

Industrie

Une des tendances dans l'industrie aujourd'hui est la décision des entreprises de former des experts en IA, plus particulièrement des "ingénieurs cogniticiens", dans le cadre de projets internes. Ceci est dû au fait que les universités ne donneront jamais de chercheurs en IA expérimentés, et encore moins des chefs de projet en intelligence artificielle capables d'entreprendre un projet de système expert important. On a réalisé, au milieu de 1984, qu'au plus 60 diplômés en intelligence artificielle, Ph.D., ayant une expérience réelle en élaboration de systèmes experts sortaient chaque année de l'université dans toute l'Amérique du Nord. En même temps, on évaluait qu'il fallait, aux États-Unis seulement, plus de 300 chercheurs et ingénieurs cogniticiens aptes à élaborer des systèmes experts.

une étude de Transports Canada, environ 60 personnes étaient diplômées en IA, Ph.D., et avaient une expérience réelle dans le développement de produits IA. Je dirais qu'en 85, ce nombre a doublé pour passer à 120. Disons qu'en 86, il est passé à 300 et qu'en 87, on a, dans toute l'Amérique du Nord, 500 diplômés universitaires ayant une formation en intelligence artificielle. Pour que le Canada se serve de cette technologie, nous aurons probablement besoin de 10 000 personnes dans 2 ou 3 ans. Un objectif de notre entreprise est de donner à 10 % de notre personnel technique une formation en IA d'ici 1990. Nous avons donc besoin de beaucoup de monde. Pour nous, il est évident que le milieu universitaire ne peut nous fournir le personnel dont nous avons besoin pour élaborer des systèmes. Notre corporation a donc décidé de participer à cette entreprise. Nous avons créé aux États-Unis ce que nous appelons un centre pour systèmes experts. On devait y étudier la technologie et l'utiliser pour former adéquatement notre personnel, mais il s'est transformé en un centre d'échange avec les clients. Dans le centre, on retrouve une main-d'oeuvre qualifiée, de l'équipement pour travailler, un élément important, et nous y entreprenons des projets de nos clients. Lorsqu'on m'a confié le mandat de lancer un programme canadien, je me suis dit, en regardant le Canada, que ce programme devrait s'étendre au-dela de Toronto, Montréal ou Vancouver.

L'aspect géographique m'a frappé et j'ai pensé, étant un résident de Winnipeg, je saisis très bien les disparités régionales, que j'établirais un réseau de centres au Canada. Nous avons donc commencé et avons fait beaucoup de chemin. À Winnipeg, nous nous associons au CNRC pour ouvrir un centre. Nous aurons cinq machines dans ce centre. Nous avons déjà établi un centre à Mississauga, c'est le centre de notre entreprise. Nous avons créé des centres conjointement avec les universités, à Ottawa ici, à Carleton, à Halifax à Dalhousie, à Hamilton à McMasters et tout dernièrement, nous ouvrons des centres à Victoria et à Vancouver. Il est quand même intéressant de noter, qu'on les appelle centres ou unités, ils sont tous axés vers le même but; non pas d'élaborer des systèmes experts, non pas de perfectionner la technologie et de faire des recherches, mais plutôt de transférer la technologie à ceux et celles qui veulent l'utiliser. La grosse question est donc de savoir comment aborde-t-on les systèmes experts. Suprême question. C'est un peu comme si on demandait comment faire de la commercialisation en Chine. C'est le seul parallèle qui me vient à l'esprit, la seule situation aussi difficile à comprendre. Il

faut beaucoup de temps, il y a beaucoup de technologie, etc. etc. Nous avons donc décidé que la meilleure façon de procéder était de réaliser un projet main dans la main avec les personnes intéressées, un peu comme nous le faisons ici avec Laval et Lafarge. Dans notre programme d'apprentissage, nous avons élaboré une méthode dans laquelle nous sollicitons la participation des gens. Généralement, trois personnes participent au programme : notre cogniticien, la personne à former chez le client et l'autre personne, l'expert qui fournira l'expertise à l'utilisateur (figure 6). Pour participer à ce programme, il est évident qu'il faut donner aux personnes concernées une formation pratique, leur faire utiliser l'équipement.

Apprentissage

Dans le cadre de son programme d'apprentissage qui s'étend sur une période de trois mois, Unisys assure pendant vingt jours un service de consultation et de soutien en génie cognitif. Ces services sont généralement assurés dans un centre de Unisys, les vingt jours étant répartis en séances d'une ou deux semaines selon une des deux options offertes.

Fig. 6 Le programme d'apprentissage

Nous montrons aux apprentis à se servir de ces outils dans leur milieu de travail. En premier lieu, nous organisons une rencontre pour examiner les domaines d'expertise auxquels le client pourrait s'intéresser. Généralement, plusieurs ingénieurs cogniticiens chevronnés participent à cette séance. Environ 80 projets internes sont en cours dans notre corporation. Je ne connais pas le nombre exact, mais tout près de 30 ou 25 programmes d'apprentissage sont terminés ou en cours. On peut donc dire que nous disposons d'une vaste expérience, compte tenu des domaine spécialisés en cause. Nous avons deux options selon le type de problème, la disponibilité des participants, etc. Généralement, nous donnons une certaine formation au centre et ensuite les participants retournent chez eux. Au centre, les participants sont entourés d'un grand nombre de personnes qui mettent leur expertise à leur disposition. Chez eux, ils travaillent seuls et ramènent ensuite les résultats.

Le plus souvent, le participant n'apporte jamais suffisamment d'information à la première séance, car il pense beaucoup plus en termes d'informatique traditionnelle. Après une journée ou une journée et demie les informations de base manquent, car le codage se fait très rapidement. Lorsque la direction est choisie, les progrès sont rapides. À la fin de ce programme, nous avons construit un prototype opérationnel (figure 7). Ce n'est pas un projet fini, mais il est suffisamment complet pour que la direction puisse prendre une décision d'ordre économique, c'est-à-dire poursuivre le projet, l'abandonner ou trouver une autre solution. Bon! Nous avons formé le personnel, il peut se servir de KEE/Explorer et ce, en une période de temps raisonnable. En un trimestre, c'est ce que nous avons fait pour la corporation.

Résultats du programme d'apprentissage

> À la fin du programme d'apprentissage, l'apprenti a élaboré un prototype de système expert opérationnel, une solution au problème choisi, et la direction a en mains suffisamment de données pour évaluer sa valeur, de même que les avantages qu'il pourrait éventuellement apporter. En outre, l'apprenti a aussi appris à se servir de KEE et Explorer pour résoudre les problèmes soulevés dans son secteur de travail. Il faut compter trois mois pour obtenir ces résultats dans le cadre du programme d'apprentissage, plutôt qu'un an ou plus si on agit seul.

Fig. 7 Résultats du programme d'apprentissage

Souvent, lorsqu'ils en sont là, ils n'apprécient même pas ce qui s'est passé durant un trimestre, mais beaucoup de compagnies ne réalisent rien durant un trimestre. À notre avis, c'est un exploit que de faire comprendre à une corporation tout l'aspect pratique de la technologie dans un prototype opérationnel et ce, en un trimestre.

Ce secteur est, à mon avis, extrêmement important. J'ai réuni ces éléments, car vous travaillez pour la plupart dans des secteurs techniques. Comme pendant environ 20 ans, j'ai connu certaines difficultés dans ce domaine financier, j'ai pensé que cela vous intéresserait (figure 8).

Justification des coûts suscités par les nouvelles technologies

Lorsqu'il s'agit de justifier les coûts entraînés par les nouvelles technologies, la direction doit choisir entre le point de vue de l'ingénieur et celui du comptable. Mais le succès de l'entreprise dépend de l'établissement de lignes directrices budgétaires permettant le développement stratégique de la compagnie tout en assurant le respect de la responsabilité financière des services comptables.

Fig. 8 Justification des coûts suscités par les nouvelles technologies

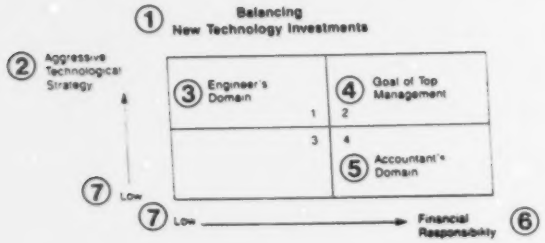


Fig. 9 Répartition équilibrée des sommes consacrées aux nouvelles technologies

① Répartition équilibrée des sommes consacrées aux nouvelles technologies
② Stratégie dynamique en matière de technologie
③ Domaine de l'ingénieur
④ Objectif de la haute direction
⑤ Domaine des services comptables
⑥ Responsabilité financière
⑦ Faible

Sur le diagramme présenté à la figure 9, vous voyez le domaine des services comptables, une très grande responsabilité financière, et en haut à gauche celui de l'ingénieur, qui veut toujours entreprendre quelque chose d'extravagant, de farfelu, et la direction qui les regarde tous les deux. Pour le moment, je dirais que la direction au Canada se situe près de la section 4, penchant un peu plus du côté de la responsabilité financière, qu'elle ne se trouve réellement à aucune extrémité. Nous voulons l'amener au centre. La situation financière est stable mais toute la compagnie est quand même en danger, car elle n'aborde pas la technologie de façon dynamique. C'est un problème courant, très difficile à résoudre étant donné le nombre d'éléments en cause. En bref, vous pouvez demain être mis au rancart par une organisation dont vous ignorez aujourd'hui l'existence et ce, à cause de la technologie. Si vous ne surveillez pas les événements, si vous ignorez ce qui se passe et que votre processus d'établissement de prévisions budgétaires ne vous permet pas d'instaurer la nouvelle technologie dans votre compagnie, vous pouvez avoir des problèmes. La figure suivante (figure 10) a été produite par l'université Western, dans une étude sur l'automatisation des procédés industriels. À mon avis, elle représente bien le type d'étude universitaire où on nous montre la façon dont les compagnies envisagent l'automatisation dans le cadre de la haute technologie.

Lorsqu'il s'agit de justifier les coûts suscités par les nouvelles technologies, l'un des rôles de la direction est de choisir entre le point de vue de l'ingénieur et celui du comptable et de modérer chacun. Dans le monde compétitif d'aujourd'hui, le succès d'une entreprise dépend de l'établissement de lignes directrices budgétaires claires permettant d'encourager les activités stratégiques et dynamiques de l'ingénieur tout en assurant le respect de la responsabilité financière des services comptables.

Parmi les aspects positifs, de ce côté, l'attitude de la haute direction est certainement l'élément le plus important. Si la haute direction est dynamique du côté technique, la corporation s'engagera dans cette voie. Si un ministère se montre dynamique face aux technologies, il s'engagera dans cette direction. Dans un ministère l'automatisation est complète, tandis que dans un autre, on travaille de façon traditionnelle. Il convient de noter que le rythme de

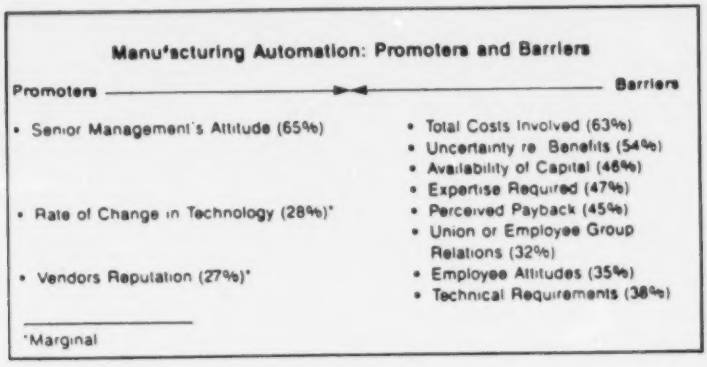

Manufacturing Automation: Promoters and Barriers
Promoters
Barriers
• Senior Management's Attitude (65%)
• Rate of Change in Technology (28%)*
• Vendors Reputation (27%)*
• Total Costs Involved (63%)
• Uncertainty re Benefits (54%)
• Availability of Capital (46%)
• Expertise Required (47%)
• Perceived Payback (45%)
• Union or Employee Group Relations (32%)
• Employee Attitudes (35%)
• Technical Requirements (38%)
*Marginal

Fig. 10 Automatisation des procédés industriels : Facteurs positifs et négatifs

Automatisation des procédés industriels : Facteurs positifs et négatifs

Positifs	Négatifs
. Attitude de la haute direction	. Coût total en cause (63 %)
	. Incertitude face aux avantages (54 %)
	. Capital disponible (46 %)
	. Expertise requise (47 %)
. Rythme de changement de la technologie (28 %)*	. Amortissement prévu (45 %)
	. Relations avec le syndicat ou avec le groupe d'employés (32 %)
. Réputation des fournisseurs (27 %)*	. Attitude des employés (35 %)
	. Besoins techniques (38 %)

*Marginal

changement de la technologie et la réputation de la compagnie sont des éléments secondaires, mais il ne faut pas oublier qu'on parle d'automatisation de procédés industriels. Quant aux éléments négatifs, ils sont évidents. Les coûts, l'incertitude face aux avantages sont je crois les barrières les plus importantes, qui font obstacle à la pénétration de l'intelligence artificielle. Où sont les avantages réels, car nous devons mentionner toutes les merveilles que vous rapportera votre investissement. Nous parlons de merveilles parce que ceux qui réalisent des profits avec cette technologie se trouvent dans une position stratégique de vainqueurs. Ils n'en parlent à personne. Il y en a beaucoup, au moins environ 150 en Amérique du Nord. La série de figures qui suit porte sur la gestion du transfert technologique (figures 11, 12, 13, 14). Je suppose que nous avons un système expert, tout ce qu'il nous reste à faire est de transférer ses connaissances.

Il faut donc faire participer l'utilisateur. Deux stratégies de base mènent à l'instauration de l'intelligence artificielle. Je pourrais citer ici des noms d'entreprises, mais je m'abstiendrai. Dans une grosse compagnie de l'industrie aérospatiale, on choisit certaines personnes, on en fait des gourous de l'intelligence artificielle; on leur permet d'aller se chercher un diplôme, Ph.D., en intelligence artificielle de façon qu'elles saisissent en profondeur toute la philosophie et toute la dynamique de cette discipline. Il faut alors compter environ un an, un an et demi. On réinsère ensuite ces personnes dans le milieu de travail qu'elles ont quitté depuis un an et demi et où elles ne sont plus tout à fait à leur place. Le taux de succès de la mise en application de l'intelligence artificielle dans cette corporation particulière est d'environ 8 %. Dans notre organisation, nous nous sommes rendus compte que les meilleurs outils que nous pouvions offrir étaient ceux que nous élaborions nous-mêmes chez nous, les outils que notre propre organisation construisaient. Nous avons donc identifié l'utilisateur comme l'élément clé. En informatique, nous parlons de la génération de langages. Les langages de quatrième génération, troisième génération, cinquième génération sont des outils pour l'utilisateur final. Ils sont réellement bien acceptés parce que l'utilisateur final est responsable de son propre projet. On tient donc compte du secteur en cause. C'est ici que le programme d'apprentissage entre en ligne de compte. Prenons par exemple l'opérateur d'un circuit de broyage, l'expert dans ce domaine, c'est lui qui s'occupe des opérations. Il participe

Gestion du transfert technologique

Prévoyez dès le début la façon dont vous allez transférer le système aux utilisateurs.
Faites participer l'utilisateur tôt. Favorisez l'élaboration de systèmes de connaissances par l'utilisateur final et vous éliminez ces problèmes de transfert. L'utilisateur qui développe son propre système est probablement prêt à l'exploiter volontiers.

Fig. 11 Gestion du transfert technologique

Gestion du transfert technologique

Deuxièmement, supprimez les peurs. Certaines personnes se sentent menacées par un système qui peut prendre des décisions. Elles sentent leur emploi menacé, le système n'étant pas pour elles un outil d'aide. On semble craindre beaucoup plus les systèmes experts que systèmes traditionnels.

Fig. 12 Gestion du transfert technologique

Gestion du transfert technologique

Troisièmement, prenez garde d'élaborer des systèmes qui pourraient perturber l'organisation ou en dépasser le cadre. Ce genre de systèmes est beaucoup plus difficile à implanter avec succès.

Fig. 13 Gestion du transfert technologique

Gestion du transfert technologique

Certains systèmes sont des échecs à cause de l'indifférence des utilisateurs ou parce qu'ils ne sont pas appropriés. Il faut qu'un vice-président ou un employé de l'entreprise soit déterminé à trouver la solution au problème pour que le système soit utilisé après son élaboration.

Fig. 14 Gestion du transfert technologique

à la création de l'outil. Si cet outil est mis en place dans l'atelier, utilisé, il est fier de son bébé. Ce sont ces éléments humains, essentiels, clés qui assurent la réussite du projet. C'est un peu comme si on envisageait dans notre approche stratégique, dans notre décision de nous engager dans la voie de cette technologie, de réussir et non d'échouer. Deuxièmement, il faut éliminer les peurs. Reginald Schmidt, il avait vraiment peur de moi, même s'il prenait sa retraite. Bon nombre de personnes se sentent menacées par un système, particulièrement par un système qui prend des décisions. C'est un peu effrayant. Ils sentent leur emploi menacé. C'est vrai, ces systèmes leur inspirent beaucoup plus de craintes que les systèmes traditionnels. À mon avis, il faut voir les choses en grand. Il s'agit ici d'implanter des systèmes, d'utiliser cette technologie dans la réalité. Je ne parle pas de créer des projets de recherche. Ce sont des problèmes humains, réels, présents. Prenons par exemple le système pour les préposés aux prêts qu'on installe actuellement dans le système bancaire américain. Un préposé aux prêts doit respecter un très grand nombre de règles. Il faut noter deux choses a) si vous employez un grand nombre de préposés aux prêts, 4 ou 5 mille, tous les six mois, vous devez leur faire suivre un cours de recyclage de deux semaines pour les tenir au courant des développements apportés à la politique de la banque. Ceci coûte beaucoup d'argent et b) le préposé n'est peut-être pas aussi bon que cela; c) si vous voulez modifier la politique de prêt, vous ne pouvez le faire instantanément. Il faut compter encore six mois pour former le personnel. Lorsqu'on a élaboré un outil pour résoudre ce problème, un système expert, contenant toutes les règles régissant la procédure de prêt dans une banque particulière, un système conseil pour le préposé, voilà ce qui s'est produit a) on a éliminé les déplacements, b) on pouvait envoyer une nouvelle disquette le mois suivant c) le préposé aux prêts pouvait alors consulter un système expert, se rapprocher un peu plus du client. Qu'arrive-t-il lorsqu'un préposé aux prêts se rapproche un peu trop de vous? Qu'arrive-t-il à votre amical gérant de banque? Voilà, il est transféré aussitôt que vous commencez à collaborer, aussitôt qu'il comprend ce qui se passe dans votre vie, dans votre entreprise, dans vos relations. Que vous soyez bon ou mauvais, il est transféré pour éviter qu'il consente un prêt sans faire preuve de discernement, parce qu'il a une relation amicale avec la clientèle. La banque dépense tout cet argent pour vous impressionner avec son image, comme elle tentait de le faire par le passé avec son personnel. Grâce à cette technologie, la banque peut à nouveau vous impressionner

par son personnel et laisser la machine exécuter les tâches désagréables. On note donc dans le secteur bancaire, une importante évolution dans la façon dont il compose avec les gens. J'étais très heureux de voir le sous-ministre ici ce matin. Ce type d'intervention est une inspiration pour ceux qui accomplissent des choses très difficiles.

SYSTÈMES EXPERTS EN TEMPS RÉEL POUR LES INDUSTRIES DE TRAITEMENT

J. DREUSSI
L.M.I.
CAMBRIDGE, MASS.

Si on pense à la technologie des systèmes experts dont nous parle Monsieur Broadhurst, on remarque partout le même élément, en fait deux concepts. Tout d'abord, toutes les applications dont il nous a parlé sont en temps réel. Tous les systèmes experts qui seront élaborés à l'avenir seront en temps réel. Les systèmes experts auxquels nous pensons aujourd'hui sont reliés à des êtres humains, assis à un terminal, tapant des données. Ces données introduites dans la machine sont bonnes à jamais. Dans les applications en temps réel, ceci n'est pas nécessairement vrai. Les données ne sont valables que pendant une certaine période. Il a aussi parlé de l'importance de remettre entre les mains de l'utilisateur le squelette de système expert. Aujourd'hui, je vais vous entretenir des systèmes en temps réel, de ce qu'il faut pour les implanter et de ce à quoi nous nous attendons de la part de l'utilisateur final. Peut-être pouvons-nous éliminer le programmeur et le cogniticien et ne garder que l'expert et l'utilisateur devant l'appareil. Je suis ici pour vous parler d'un progiciel d'application, du système expert exploité en temps réel PICON. Je ne veux pas vous vendre PICON, mais tout simplement vous dire ce qu'il contient et vous exposer la philosophie sous-jacente. Vous expliquer en quoi consiste un sytème expert en temps réel et vous en énumérer les caractéristiques. Premièrement, il y a un grand nombre d'entrées, jusqu'à 20 000 points, peut-être plus, points de saisie de données, points de mesure, capteurs, etc., gestion de données, bases de données, tout ce qu'il faut pour faire le travail. Il y a de très grosses bases de connaissances, jusqu'à 100 000 cadres peut-être plus, des règles, des règles descriptives et des objets. Certains faits sont toujours valables, d'autres ne sont activés que lorsque certaines conditions sont réalisées, alors vous leur accordez une attention particulière. Le temps, qu'est-ce que le temps a à voir avec les systèmes en temps réel. Quelquefois nous définissons un système en temps réel comme un système suffisamment rapide. C'est beaucoup plus que cela. Un système en temps réel

comprend les données introduites, établit leur durée de validité et décide de les utiliser ou non. En ce qui concerne l'utilisateur, si vous créez un système, vous devez pouvoir en extraire tous les attributs, consulter la base de connaissances et en extraire certaines parties selon les caractéristiques des objets, les valeurs des règles que vous avez introduites, selon vos propres paramètres. Vous devez pouvoir modifier le système. Les systèmes experts sont souples, c'est une de leurs caractéristiques et la raison de leur popularité. Ils sont flexibles. On peut les modifier. On peut les agrandir. On peut les développer. Finalement, si vous implantez un système de cette grosseur, peut-être dans un secteur critique, pour des raisons de sécurité, financières, vous voulez le tester et l'exploiter en simulation au préalable, vous ne voulez pas aller de l'avant, le mettre en exploitation car vous ignorez les conséquences. De plus, si vous mettez en place un système en temps réel, vous devez pouvoir le relier à d'autres systèmes de commande, à d'autres gros ordinateurs ou à un bus ou à un réseau de données ou utiliser des connexions bus à bus directes. Si vous installez un système expert dans une usine, une usine étant tout ce qui peut être exploité en temps réel, n'importe quel procédé, car chaque fois qu'on prend des décisions, on suit le même processus décisionnel. Dans une usine, dans un système quelconque, vous travaillez avec un système dans lequel il peut y avoir 20 000 points, 100 000 règles différentes, 200 000 ou 500 000 objets dont il vous faut tenir compte. Que se passe-t-il lorsqu'un mécanisme d'alarme se déclenche? Lorsque quelque chose ne va pas? Vous avez décidé par exemple, d'acheter une certaine huile à un certain prix. Comment cette décision affectera-t-elle le reste de vos opérations? Qu'est-ce qui va se passer? Supposons que vous prenez la mauvaise décision. Comment pouvez-vous revenir en arrière? Ou si vous travaillez dans une centrale électrique et qu'un mécanisme d'alarme se manifeste et en déclenche des centaines d'autres, comment réagissez-vous? Comment vous en sortez-vous? Le système doit pouvoir s'occuper en même temps de centaines de ces alarmes, sans embarrasser l'utilisateur. Vous devez permettre à l'opérateur de développer ce logiciel de commande dans le système expert, de la même façon qu'il l'a fait pour les procédés avec lesquels il travaille présentement. La semi-automatisation des usines ne s'est pas faite en un rien de temps. On a dû y mettre le temps. C'est pareil avec la technologie des systèmes experts, le processus est long. Dans un cadre d'exploitation en temps réel, le processus est très lent, car on est très réticent à laisser

une machine prendre les décisions, contrôler l'atelier. Finalement, il faut former le personnel, lui expliquer le pourquoi de la chose. Lors de la conception d'un système expert qui traite 100 000 points, a des milliers de règles et des milliers d'objets, quel genre d'ordinateur faudra-t-il pour explorer tous ces points, déclencher toutes ces règles chaque fois que c'est nécessaire, toutes les cinq secondes, toutes les cinq millisecondes, etc. Lors de l'élaboration d'un de ces systèmes nous examinons la façon dont un être humain fonctionne, nous étudions l'être humain dans la salle de commande par exemple.

Lorsque tout va bien dans la salle de commande, quel que soit le processus, l'opérateur est là et regarde tout simplement quelques jauges, quelques cadrans, quelques paramètres; il supervise. Mais si une de ces jauges fait défaut, cesse de fonctionner. Que se passe-t-il? À ce moment-là, l'opérateur porte son attention sur une partie, sur un autre élément du processus. Par exemple, prenons une fournaise, quelque chose fonction de la température ou de la pression, tant que la température ou la pression est stable, vous ne vous inquiétez pas du reste du système, ni des risques d'incendie. Mais si la pression ou la température monte trop haut ou inversement, si elle descend trop bas, vous regardez plus attentivement un des éléments du système. C'est un mécanisme de chaînage différent de celui dont nous parlons dans un système expert. Regardons un organigramme de système expert traditionnel. C'est généralement de cette façon que nous comparons les systèmes experts, les systèmes experts traditionnels, à un logiciel classique. Prenons ce dernier. Vous devez introduire toutes les connaissances sur votre domaine dans une boîte. Ensuite, vous devez établir la communication avec cette boîte. Dans un système expert, il y a le programme, le moteur d'inférence, et les connaissances sur le domaine, complètement séparées du moteur d'inférence, carrément un programme de gestion de données. Lorsque des données sont introduites, le système examine certaines règles heuristiques, ou de jugement, et met ensuite en service le moteur d'inférence. Dans une application en temps réel, que faut-il? Tout d'abord, nous devons reconnaître que des experts techniques vont constituer pour nous une base de connaissances. Si l'application doit être exécutée en temps réel, nous devons, d'une façon ou d'une autre, étudier notre procédé et finalement, communiquer avec nos opérateurs, leur donner des conseils, les forcer à poser des questions comme Pourquoi ceci? Que signifie cela? Nous devrons avoir toutes sortes de mécanismes de chaînage, notamment

de chaînage avant et arrière, de même que d'autres types de mécanismes dont on ne parle pas. Prenons la structure d'un système expert en temps réel, et morcelons-la. C'est ce que nous obtenons. Ici, un système en temps réel, exploité sur un quelconque ordinateur traditionnnel. Là, un moteur d'inférence, un système exploité sur une sorte de processeur symbolique. Ce processeur en temps réel doit pouvoir communiquer avec le bus de données, le réseau, en extraire des données, les mémoriser, les soumettre à un processus d'inférence élémentaire, les mémoriser, voir à ce que le moteur d'inférence s'en serve avec les données de la base de connaissances et affiche les résultats à l'intention de l'opérateur. La structure de base d'un système expert devient donc un peu plus complexe lorsqu'on parle d'une application en temps réel.

Quelles sont les étapes à suivre pour élaborer un système expert. Tout d'abord, il y a l'acquisition des connaissances; il faut transférer les connaissances de l'expert dans la machine, il faut ensuite élaborer des règles qui s'appliquent à ces connaissances et ensuite, constituer les interfaces. En ce qui concerne l'acquisition des connaissances, pour obtenir un système dont l'utilisateur final pourra se servir directement, le système doit représenter des icônes, des éléments d'atelier ou autre dans le langage de l'utilisateur final. L'utilisateur final devra pouvoir tracer un schéma, dans sa propre langue du processus réel. Voyons par exemple le schéma d'un simple processus de localisation de défauts. Nous avons les éléments suivants : un réservoir, un certain nombre de filtres et de contrôleurs et beaucoup de valeurs de mesure, F1, B1 et C1, il y a différentes sortes de points de mesure, capteurs. Nous aimerions que l'utilisateur s'asseoit et trace un schéma de son atelier. Ceci fait, il peut tirer certaines valeurs de ces éléments logiques, ce sont les valeurs de mesure. Par exemple, le niveau du réservoir est une valeur de mesure. L'opérateur trace ce schéma dans son propre langage. L'ingénieur lui choisit le type d'icône, qui varie d'une industrie à l'autre, il définit les points de mesure. Finalement, nous aimerions pouvoir afficher les données réelles de ce schéma à mesure que le processus se déroule. Nous aimerions que l'utilisateur introduise les règles en langage naturel, dans sa langue. Si possible, nous aimerions structurer le système de façon que l'utilisateur n'ait à taper aucun chiffre et peut-être ensuite, les messages qu'il envoie à un opérateur ou à un ingénieur ou à un

registre. Nous aimerions que l'ingénieur automaticien utilise un dispositif de sélection dans les menus et crée ses propres règles en se servant de la grammaire intégrée. Ces règles peuvent varier énormément. Toutes ces valeurs reflètant l'état des réservoirs et des valves ont été établies à l'aide d'une procédure de sélection dans les menus, l'utilisateur n'a donc rien à introduire au clavier. La seule chose que l'utilisateur introduit ici est le chiffre .4545. Rien d'autre.

En se basant sur les informations que nous avons sur le schéma ici, le système peut générer la grammaire dont l'ingénieur automaticien pourra se servir pour bâtir ses propres règles, sans programmer, sans être cogniticien, en étant tout simplement compétent. C'est réellement pratique pour l'ingénieur automaticien, car lorsqu'il doit établir qu'une règle est erronée, la corriger ou en ajouter une autre, il lui suffit de le faire. Il n'a pas à appeler un programmeur, en espérant qu'il sera là dans quelques jours pour l'aider. Ce qu'il nous faut, ce sont divers types de règles, formulées dans le langage de l'ingénieur automaticien. Nous avons les règles "SI... ALORS", nous avons des règles inconditionnelles par exemple, dans une opération discrète comme une opération de forage, vous pouvez avoir des variables qui définissent des étapes par exemple, l'étape 1, l'étape 2, l'étape 3, l'étape 4 du procédé. L'utilisateur doit pouvoir introduire ces opérations et les structurer, etc. dans son propre langage. Certaines personnes préfèrent utiliser "WHENEVER", d'autres fixer des valeurs initiales à l'aide de propositions initiales. Il y a une très grande variété de règles et de propositions différentes qui vous permettent de satisfaire aux exigences de l'utilisateur. La plus intéressante est la règle générale. Nous avons un système qui comprend 40 000 pompes, toutes de la même sorte, toutes de la même marque et ayant toutes la même pression. Vous aimeriez formuler la proposition suivante. Si quelque chose arrive à une de ces pompes, il faut me le dire. Vous ne dites pas si quelque chose arrive à la pompe numéro 1, il faut me le dire, si quelque chose arrive à la pompe numéro 2, il faut me le dire et ainsi de suite pour les 40 000 pompes. Vous voulez une règle générale qui vous permettra de désigner les pompes en général. Si le code d'erreur du modem d'un processeur est en service, alors envoyer un message aux modems de ce type de processeurs. Dans cette application d'analyse de réseau, nous avions des centaines de modems et des centaines de processeurs et nous avons formulé une règle qui s'appliquait

à tous ces éléments. En procédant ainsi, l'utilisateur n'a pas à se préoccuper de tous les modems particuliers, il formule son problème de façon générale. Ce qui est bien avec ces règles, c'est que l'utilisateur les définit dans son propre langage, comme il les comprend dans le cadre de son industrie, et il choisit aussi le mode d'interface, soit la fréquence à laquelle il consultera les connaissances, le moment de faire appel à une règle particulière, la méthode d'inférence à utiliser, le chaînage avant ou arrière ou un autre mécanisme par exemple. Au cours de la journée, vous avez probablement entendu quelquefois le mot cadre ou objet. Quelqu'un en a parlé ce matin. C'est une méthode qui nous permet de relier des paramètres particuliers à des valeurs particulières dans le cas d'objets particuliers. Dans la technologie d'aujourd'hui, un système idéal s'appuie sur la représentation de cadres, les règles, les objets etc. s'appuient sur le cadre d'où une implantation très efficace de ce système.

Si vous regardez le cadre pour les règles "SI... ALORS", vous aimeriez définir une catégorie "sécurité". Quelque part dans votre programme, vous pouvez énoncer ce qui suit. Si telle et telle partie est trop chaude, la température mesurée par un certain capteur est trop élevée, ALORS mettre en service toutes les règles reliées à la catégorie sécurité. ET c'est ce que le système fait. Ce sont les propos que tient un ingénieur automaticien. Vous pouvez indiquer au système la fréquence d'application de cette règle, la fréquence de son utilisation. Vous lui dites aussi que lorsqu'il a déclenché cette règle, si elle est vraie, il doit la vérifier toutes les deux secondes, car la situation est critique. Un système exploité en temps réel vous permet de procéder ainsi. Et puis, vous voulez savoir qui a introduit cette règle, quand elle a été changée et quel est son état. Si on examine les modes d'utilisation des règles, on parle de mécanisme d'inférence. Il y a les mécanismes traditionnels dont on parle continuellement. Dans les systèmes experts, il y a le chaînage avant, le chaînage arrière. Il y en a quelques autres dont vous avez besoin dans un système en temps réel. Vous devez pouvoir focaliser sur des portions particulières du système qui causent des problèmes. Vous ne voulez pas faire appel à toutes ces règles en tout temps, vous ne voulez focaliser sur certaines règles particulières que lorsqu'une condition particulière se réalise. Vous voudrez quelquefois, vous servir d'un autre genre de mécanisme d'inférence pour vérifier des règles, tout simplement parce que

c'est l'heure de la vérification. C'est ce que nous appelons faire une lecture. Particulièrement dans un milieu industriel, le programme a un module de lecture. Avec le système PICON, on peut vérifier les règles de plusieurs façons, sans pour autant afficher les données. Dans un système où il y a uniquement chaînage avant ou chaînage arrière, certaines conditions doivent se réaliser avant que vous puissiez appliquer ces règles. Supposons que vous voulez vérifier ces conditions avant qu'elles se réalisent, les soumettre à des vérifications de type "WHAT IF". Finalement, voyons le mécanisme d'inférence de ce système. Il y a chaînage avant, chaînage arrière, focalisation. Vous pouvez l'avoir, c'est important. L'opérateur doit pouvoir obtenir des explications sur les conclusions tirées par les divers mécanismes de chaînage. Vous devez pouvoir revenir en arrière et poser des questions. Dans un système exploité en temps réel comme PICON, c'est un élément très important. Voici comment on peut bâtir une règle. Pour commencer vous choisissez une option dans un menu. C'est le début. Il affiche SI (IF). Vous prenez votre souris et vous la positionnez sur un point de mesure, un capteur.

Vous continuez de choisir les éléments de votre règle dans le menu. Connaissez-vous la différence entre le chaînage avant et le chaînage arrière? En chaînage avant, on a un ensemble de données et on doit tirer une conclusion. En chaînage arrière, on a un problème et il faut établir le pourquoi de ce problème? C'est essentiellement ce qui distingue le chaînage avant du chaînage arrière. Dans le premier cas, on part de données pour obtenir un état, dans le second cas, on a un état, et on trouve la raison de cet état et pose un diagnostic. La stratégie de focalisation est quelque peu différente, car vous devez indiquer au système l'objet de la focalisation. Vous pouvez bâtir une règle et dire au système que lorsqu'une condition particulière se réalise, il doit focaliser sur la fournaise numéro 3 et la catégorie "sécurité", de façon que toutes les règles reliées à cette fournaise et ayant une cote de sécurité seront mises en service. Nous avons une base de données, nous avons procédé à l'acquisition des connaissances, bâti nos règles, tracé notre schéma; nous nous sommes occupés de tout ce dont nous devions nous préoccuper en temps réel. Nous avons 100 000 règles, 200 000 objets et voulons trouver tous les objets, toutes les règles qui touchent à la cellule FR. Nous

voulons trouver tous les points de mesure, capteurs, dont le niveau est supérieur à 30. Comment faire? Dans un gros système expert, il vous faut un endroit où examiner la base de connaissances. Le système dont nous parlons ici est doté d'un mécanisme d'extraction relationnel avec lequel vous pouvez extraire à peu près toutes les données stockées dans votre base de données, votre base de connaissances, en utilisant des règles simples. Vous pouvez par exemple extraire toutes les règles reliées à la sécurité, toutes les règles mentionnant l'élément XYZ, les règles reliées à un problème. Nous ne voulons pas que l'ingénieur automaticien ait à taper quoi que ce soit. Nous ne voulons pas que l'ingénieur automaticien fasse des erreurs en tapant. Nous ne voulons pas que l'ingénieur automaticien, ou n'importe quel ingénieur, ou l'utilisateur ou qui que ce soit, demande des choses qui n'y sont pas. Alors, je fais comme ceci. J'appuie sur une touche qui dit au système d'extraire des paramètres de la base de connaissances, telle et telle règles. Pour ce qui est du reste, j'appuie sur diverses touches et lorsque j'ai terminé, j'appuie sur end. L'extraction commence. On ne veut pas voir toutes les connaissances, les vérifier, avant de se servir du système, il faut l'exploiter en simulation. Il nous faut donc pouvoir décrire mathématiquement notre procédé au système expert et ce, avec ce qu'on appelle une proposition de simulation. Lorsque nous avons le contrôle de la simulation, nous pouvons exécuter un essai en direct. Pour ce faire, vous sortez les données de votre système et les introduisez dans votre système expert en temps réel, de sorte que le système expert pense qu'il est en réalité en direct. Ensuite, lorsque l'essai est réussi, vous les reliez. Vous n'exploitez votre système expert en direct que lorsque vous avez réussi la simulation. En simulation, le système vous indique les valeurs de tous les points de mesure, capteurs, et vous signale tous les messages de l'opérateur.

Maintenant, je vais passer toutes les diapositives qui me restent. Pour résumer, disons que l'avenir appartient aux systèmes experts en temps réel. Nous devons donc résoudre tous les problèmes reliés aux systèmes experts, aux systèmes experts en temps réel, à l'exploitation en temps réel, un secteur bien différent des systèmes experts. Et qui plus est, il nous faut savoir comment nous allons permettre à l'utilisateur final d'élaborer ces systèmes, étant donné qu'on ne peut se permettre que trois personnes travaillent sur chaque système expert, un expert, un programmeur et un cogniticien, et

essaient de le faire fonctionner. Ce qu'il nous faut, ce sont des systèmes experts en temps réel dans lesquels l'utilisateur peut introduire ses connaissances, dont il peut se servir et qu'il peut essayer pour voir si la réponse est la même. Finalement, une question à laquelle personne ne s'intéresse pour le moment comment savoir si la base de données est correcte? Au début, je vous ai parlé d'un système expert qui contenait 100 000 cadres, plusieurs centaines de milliers de règles, plusieurs centaines de milliers d'objets. Pensez-vous qu'il n'y a aucune erreur dans ce système? Il contrôle toute une usine. Pour que ce soit plus facile à comprendre, disons que cet expert système commande le guichet automatique dans lequel vous insérez une pièce de 25 sous, auquel vous demandez de l'argent, auquel vous dites de retirer de l'argent de mon compte de banque en appuyant sur des boutons. Ça marche, l'expert système a dit que c'était correct. Comment savoir si ces opérations sont bien codées? C'est un sujet complètement différent, mais lorsqu'on analyse un système il faut y penser. Merci.

OUTILS DE DÉVELOPPEMENT DE SYSTÈMES EXPERTS SUR PC

T. GOMI
APPLIED AI SYSTEMS INC.
KANATA

NOTE DE L'ÉDITEUR.

Il nous a été impossible de transcrire l'enregistrement de cette présentation. L'auteur nous a remis un exemplaire de toutes les aides visuelles qu'il a utilisées; la plupart étant explicites, nous les avons reproduites telles quelles ou traduites.

PETITS OUTILS

- LE POINT SUR LES OUTILS IA EXPLOITÉS SUR PC
- NOUVELLE GÉNÉRATION D'OUTILS IA EXPLOITÉS SUR PC
- POURQUOI DES OUTILS EXPLOITÉS SUR PC
- QUELQUES EXEMPLES D'OUTILS EXPLOITÉS SUR PC
- L'AVENIR!
- ANALYSE ET OBSERVATIONS
  - LES UTILISATEURS SE SONT RENDUS COMPTE COMBIEN IL ÉTAIT FACILE D'UTILISER UN SIMPLE SQUELETTE DE SYSTÈME EXPERT EN 1985, SOIT UN SYSTÈME À BASE DE RÈGLES, DOTÉ D'UNE STRATÉGIE GUIDÉE PAR LES BUTS, D'UNE STRATÉGIE VERS L'ARRIÈRE
  - EN MÊME TEMPS, ILS EN AVAIENT ASSEZ DES LIMITES QUE CES OUTILS LEUR IMPOSAIENT DANS LES DOMAINES SUIVANTS :
    - ÉLABORATION DE BASES DE CONNAISSANCES DE DIMENSION PRATIQUE
    - EXPRESSION DE DIVERS TYPES DE CONNAISSANCES
    - STRUCTURATION ADÉQUATE DE BASES DE CONNAISSANCES
    - ÉTABLISSEMENT D'INTERFACES FLEXIBLES AVEC L'UTILISATEUR
    - CONSULTATION DE DIVERSES SOURCES DE DONNÉES RÉELLES
  - CERTAINS SYSTÈMES EXPERTS NUISAIENT RÉELLEMENT À LA RÉPUTATION DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

PETITS OUTILS

- ANALYSE ET OBSERVATIONS (SUITE)
  - DANS BON NOMBRE D'APPLICATIONS PRATIQUES, LES PROBLÈMES RELIÉS À L'INTERFACE AVEC L'UTILISATEUR ÉTAIENT LES PLUS IMPORTANTS :
    - AUCUN OUTIL NE PERMETTAIT DE LES RÉSOUDRE
    - PERSONNE NE VEUT RÉPONDRE À 20 QUESTIONS POUR OBTENIR EN RÉPONSE UN SIMPLE "OUI"
  - IL Y AVAIT INCOMPATIBILITÉ AVEC LES AUTRES SYSTÈMES DE CALCUL :
    - 2GL : ASSEMBLEURS POUR LES ENTRÉES/SORTIES SPÉCIALES
    - 3GL : FORTRAN, C, PASCAL, ADA, ETC., POUR ASSURER LA REPRÉSENTATION PROCÉDURALE NÉCESSAIRE
    - 4GL : BASES DE DONNÉES, TABLEURS, LANGAGES DE TRAITEMENT DES REQUÊTES
- PETITS OUTILS DE DEUXIÈME GÉNÉRATION
  - CE N'EST PLUS UN OUTIL DE PROGRAMMATION PUREMENT DÉCLARATIF
  - SYSTÈMES DE CALCUL HYBRIDES SOUS CERTAINS ASPECTS
  - REPRÉSENTATION DES CONNAISSANCES DANS DES SYSTÈMES HYBRIDES
    - RÈGLES OU CALCUL DES PRÉDICATS
    - CADRES STÉRÉOTYPÉS, SCHÉMA OU OBJETS
    - REPRÉSENTATION PROCÉDURALE

PETITS OUTILS

- PETITS OUTILS DE DEUXIÈME GÉNÉRATION (SUITE)

  - RAISONNEMENT DES SYSTÈMES HYBRIDES

    - CHAÎNAGE ARRIÈRE

    - CHAÎNAGE AVANT

    - ATTACHEMENTS PROCÉDURAUX

    - RAISONNEMENT TAXONOMIQUE

  - UNE CERTAINE FORME DE DÉPANNAGE POUR LES PROCESSEURS PLUS PUISSANTS

    - 80286, 80386
    - HYPERCUBE

  - INTERFACE LINGUISTIQUE :

    PLUSIEURS PEUVENT MAINTENANT CONVERSER EN LANGAGE DE DEUXIÈME, TROISIÈME ET QUATRIÈME GÉNÉRATION

    CERTAINS OUTILS DU DÉBUT AVAIENT CETTE FONCTION DE COMMUNICATION, MAIS ÉTAIENT TRÈS DIFFICILES À UTILISER. LA MAJORITÉ DE CES PROBLÈMES SONT RÉSOLUS :

- LA DIFFÉRENCE ENTRE LES GROS ET LES PETITS OUTILS S'ATTÉNUE

  - "TOUT LANGAGE PRODUIT POUR MS-DOS PAR MICROSOFT"

  - FONCTION COMMUNE DE SOUTIEN INTERLANGAGE, UN GAGE DE VERSATILITÉ

  - IL FAUT ENCORE APPORTER DES MODIFICATIONS TECHNIQUES À CERTAINS LANGAGES POUR ASSURER LA LIAISON

PETITS OUTILS

- PETITS OUTILS DE DEUXIÈME GÉNÉRATION (SUITE)

  - LE PC DE IBM ET LE MACINTOSH SONT COMPATIBLES AVEC LA GRANDE MAJORITÉ DE CES OUTILS

    DANS LE CAS DES AUTRES PETITS ORDINATEURS, L'ÉLABORATION DES OUTILS SE FAIT TRÈS LENTEMENT OU LES OUTILS SONT INEXISTANTS

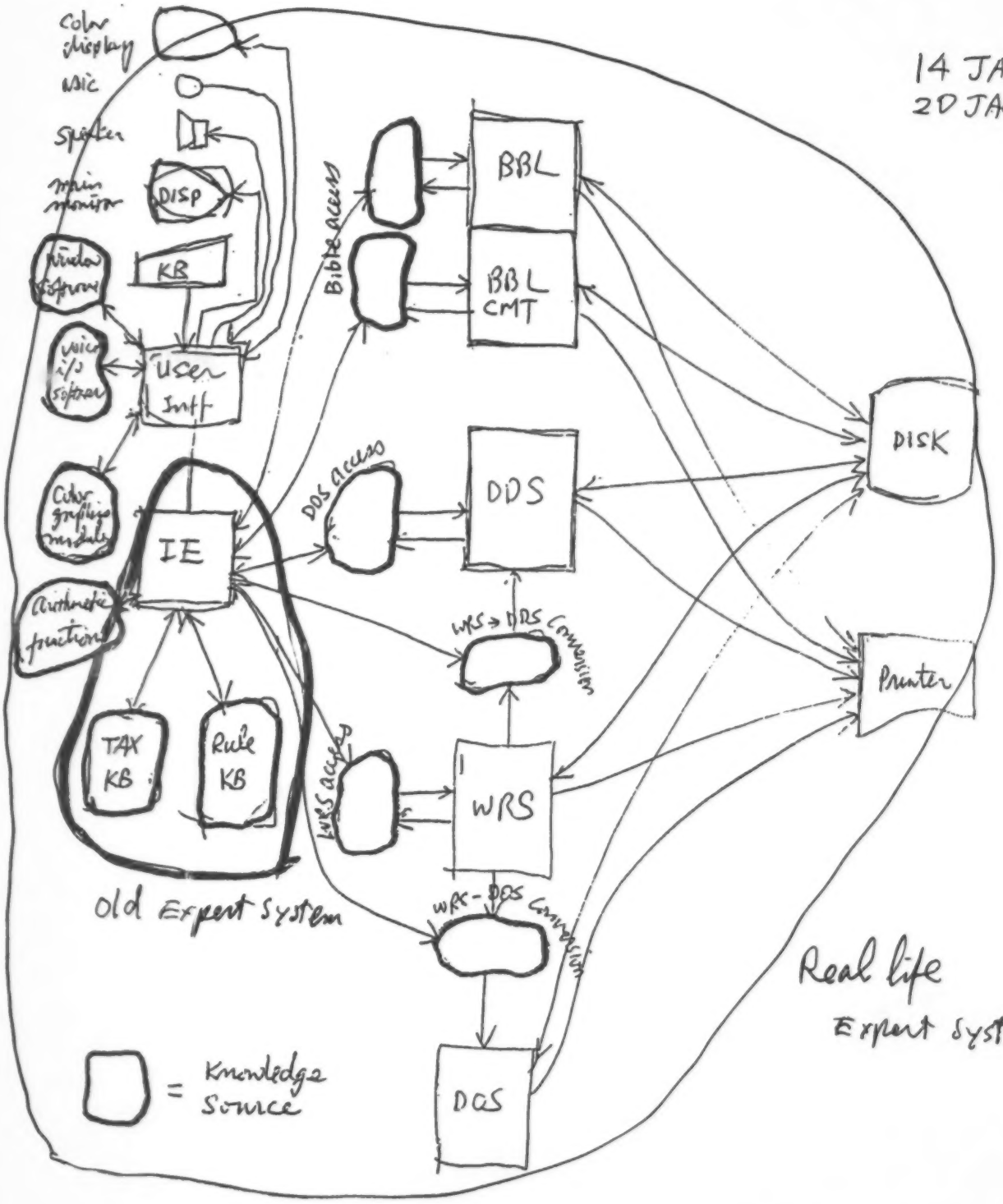
  - POSSIBILITÉ D'AJOUTER DES MÉTA-CONNAISSANCES. GÉNÉRALEMENT SOUS LA FORME DE RÈGLES DANS UNE AUTRE BASE DE CONNAISSANCES

  - TRAITEMENT FRONTAL EN LANGUE NATURELLE AMÉLIORÉ (À L'ENTRÉE ET À LA SORTIE)

    IL S'AGIT TOUJOURS DE L'APPARIEMENT D'OBJETS DE RÉFÉRENCE - OBJETS OBSERVÉS (ENTRÉE) OU DE PHRASES PRÊTES À L'EMPLOI (SORTIE), MAIS CES OUTILS SONT PLUS SOUPLES, PLUS FACILES À ÉDITER ET À MODIFIER

  - ACCÈS À DE NOMBREUSES FONCTIONS UTILES

    - GRAPHIQUES COULEURS
    - MULTIFENÊTRE
    - SOURIS ET AUTRES MÉCANISMES DE POSITIONNEMENT
    - MENUS

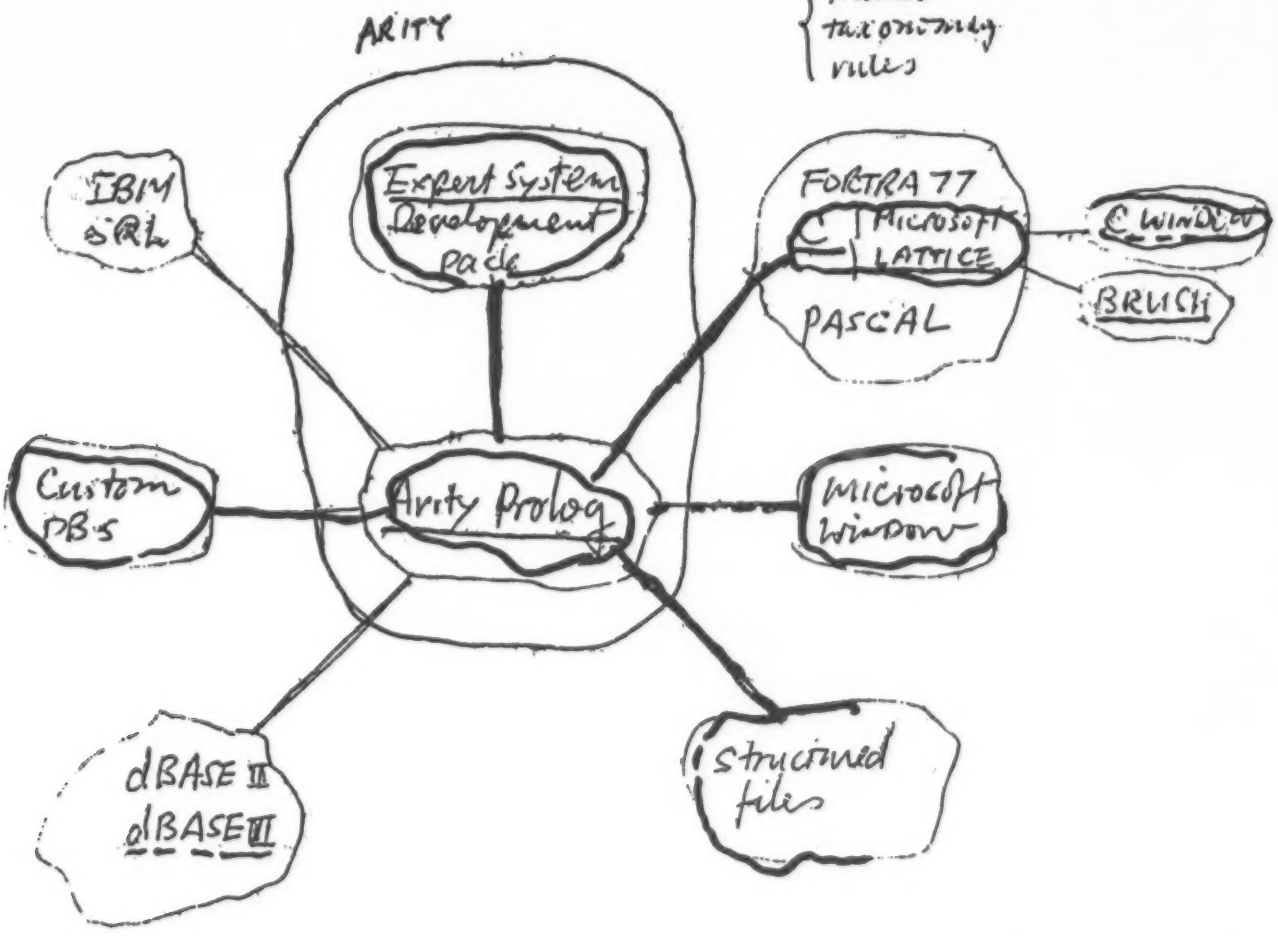


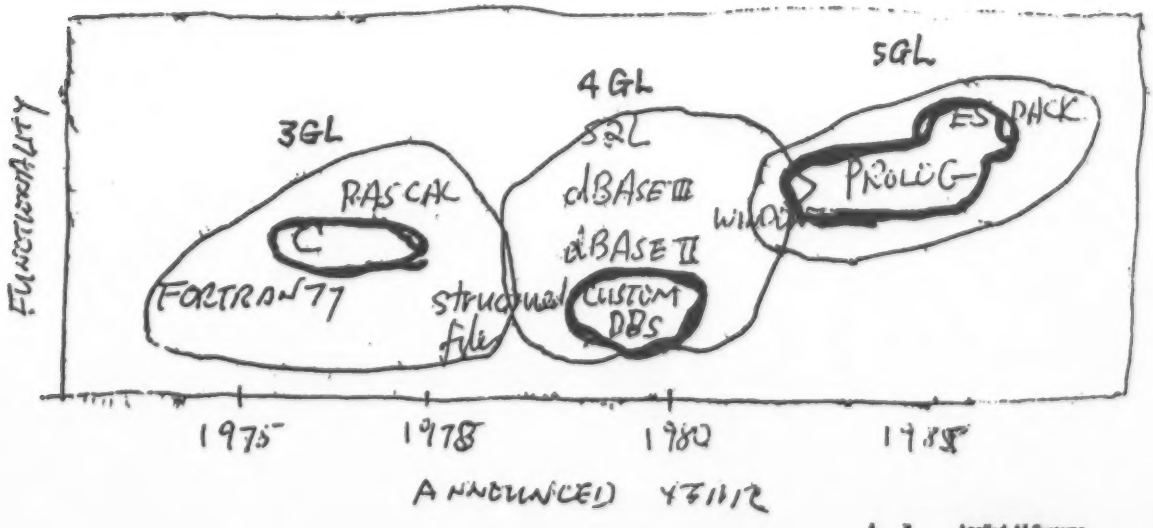
Applied AI Systems, Inc.
P.O. Box 13550
KANATA, Ontario
Canada K2K 1X6
Telephone: (613) 592-0084

2

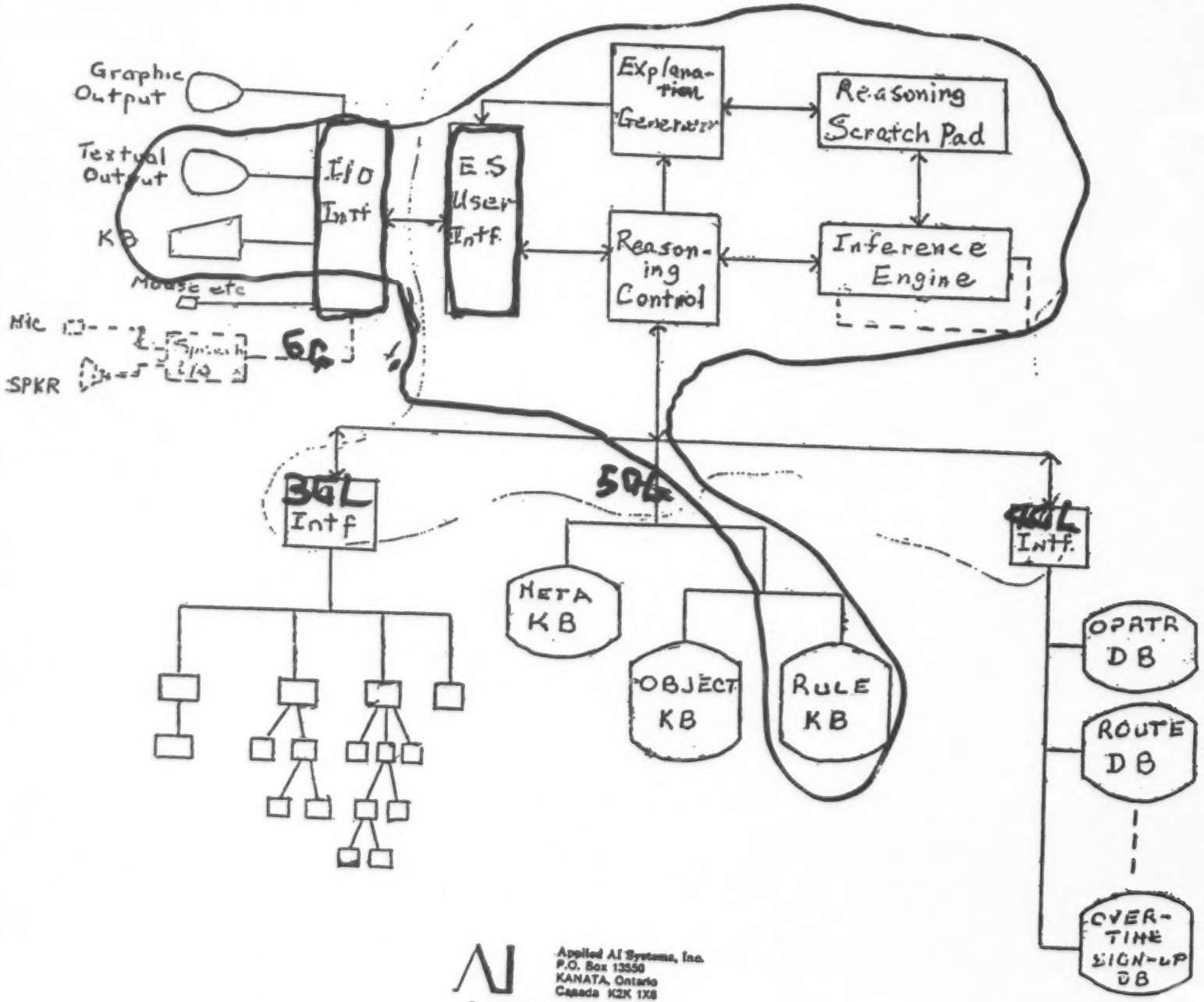
frames
taxonomy
rules

14 JUL 86





Applied AI Systems
P.O. Box 12660
KANATA, Ontario
Canada K2K 1X8
Telephone: (613) 592-0084



Applied AI Systems, Inc.
P.O. Box 13550
KANATA, Ontario
Canada K2K 1X8

PETITS OUTILS

- EXEMPLES

  - Xi

    - MACHINES DE LA CATÉGORIE DU PC DE IBM
    - RÈGLE PLUS CADRE
    - PROCÉDURE D'EXPLICATION ET DE JUSTIFICATION ÉLABORÉE
    - INTERFACE AVEC MENUS
    - TRAITEMENT FRONTAL EN LANGAGE NATUREL ADAPTABLE

  - GURU

    - MACHINES DE LA CATÉGORIE DU PC DE IBM
    - POUR LES "APPLICATIONS DE GESTION"
    - CHAÎNAGE ARRIÈRE ET AVANT
    - SOLLICITATION AUTOMATIQUE DES DONNÉES D'ENTRÉE
    - EXCELLENT ACCÈS AUX BASES DE DONNÉES
    - TRAITEMENT DES FACTEURS D'INCERTITUDE
    - ACCÈS AU TABLEUR
    - GRAPHIQUES DE GESTION
    - LIAISON AVEC LES 3GL
    - INTERFACE AVEC MENUS

  - MICRO-PROLOG/APES

    - PC DE IBM ET MACINTOSH
    - APPLICATIONS SCIENTIFIQUES
    - UNE DES VERSIONS LES PLUS ÉLÉGANTES
    - LIAISON LIMITÉE AUX L3G
    - INTERFACE EN LANGAGE NATUREL D'APPARIEMENT D'OBJETS DE RÉFÉRENCE - OBJETS OBSERVÉS
    - SOLLICITATION AUTOMATIQUE DES DONNÉES D'ENTRÉE
    - PHRASES FACILES À UTILISER POUR LES EXPLICATIONS
    - FENÊTRES
    - MENUS

PETITS OUTILS

- EXEMPLES (SUITE)

  - INSITE

    - MACHINES DE LA CATÉGORIE DU PC DE IBM
    - TOUJOURS À BASE DE RÈGLES
    - ACCÈS À LA BASE DE DONNÉES
    - LIAISON AUX 3GL
    - FENÊTRES
    - MENUS

  - ARITY

    - MACHINES DE LA CATÉGORIE DU PC DE IBM
    - "APPLICATIONS DE GESTION"
    - EXCELLENT ACCÈS À LA BASE DE DONNÉES
    - ACCÈS AU TABLEUR
    - TRAITEMENT DES FACTEURS D'INCERTITUDE
    - GRAPHIQUES DE GESTION
    - LIAISON AUX 3GL
    - INTERFACE AVEC MENUS

  - MACSCHEME

    - MACINTOSH
    - PROLONGEMENT LIPS À BASE D'OBJETS
    - POSSIBILITÉ DE DÉFINIR DES CONSTRUCTIONS MENTALES EN 3GL
    - FONCTIONS MACRO ÉLABORÉES

PETITS OUTILS

- EXEMPLES (SUITE)

  - GC LISP

    - PC DE IBM
    - BONNE UTILISATION DES NORMES LISP STANDARD
    - SQUELETTE DE SYSTÈME EXPERT PUISSANT PRÉVU
    - PROGICIEL GRAPHIQUE
    - DOCUMENTATION LISP INTÉGRÉE
    - VERSION POUR LE 80286
    - ON PRÉVOIT UN POSTE DE TRAVAIL IA PUISSANT UTILISANT LE 80386

  - SMALLTALK/V

    - PC DE IBM
    - PEU COÛTEUX MAIS PUISSANT
    - MULTIFENÊTRE
    - À BASE D'OBJETS
    - RÈGLES ET CLASSE
    - GRAPHIQUES EN MODE POINT AVEC ÉDITEUR

  - Q&A

    - PC DE IBM
    - BASE DE DONNÉES INTELLIGENTE AVEC TRAITEMENT FRONTAL EN LANGAGE NATUREL
    - BASE DE DONNÉES RELATIONNELLES
    - TRAITEMENT DES DONNÉES DES BASE DE DONNÉES STANDARD (PAR EXEMPLE, DBASE III)
    - TRAITEMENT DES DONNÉES DES TABLEURS

CHANGE NINA'S POSITION TO "REGIONAL SALES MANAGER" AND ADD $5,000 TO HER SALARY.
Shall I do the following?
PERMANENTLY CHANGE THE DATABASE
by setting Position to "REGIONAL SALES MANAGER" and
Salary to Salary+$5,000.00
on all forms on which
the Department is SALES and
the Evaluation is > 6 and
the Name is NINA
>Yes - Continue<
No - Cancel request
EMPLOYEE.DTF
Esc-Cancel
↵ Continue

REMPLACER LE TITRE DU POSTE DE NINA PAR "DIRECTRICE RÉGIONALE DES VENTES" ET AJOUTER 5 000 $ À SON SALAIRE

Dois-je exécuter les opérations suivantes?

MODIFIER DÉFINITIVEMENT LA BASE DE DONNÉES
en établissant le poste à "DIRECTRICE RÉGIONALE DES VENTES"
en ajoutant au salaire 5 000 $
dans le cas de toutes les formes dont
le département est ventes
l'évaluation est > 6 et
le nom est NINA.

Oui, pour poursuivre Non, pour annuler la demande

EMPLOYÉE.DTF

Annuler-Esc Poursuivre

PETITS OUTILS

- POURQUOI DES OUTILS EXPLOITÉS SUR PC?

  - SANS AUCUN DOUTE PARCE QUE C'EST PLUS RENTABLE

    - LES PANNES DE MACHINE LISP SONT LA CAUSE NUMÉRO 1

  - DANS PLUS DE 95 % DES CAS, LE CONCEPTEUR ÉLABORE UN LOGICIEL, MAIS NE L'EXPLOITE PAS

    - IL FAUT UNE VITESSE DE CONVERSATION AVEC L'HUMAIN ET NON LA PUISSANCE DE CALCUL D'UNE MACHINE LISP

  - TRANSITION PLUS FACILE LORS DE LA LIVRAISON DU SYSTÈME

    - VOUS EXPLOITEZ LE SYSTÈME QUE VOUS AVEZ CONSTRUIT
    - LES PANNES DE MACHINE LISP SONT LA CAUSE NUMÉRO 2

  - ON PEUT COMMENCER À UTILISER L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE AUJOURD'HUI

  - COMPATIBILITÉ AVEC PLUS DE 50 000 LOGICIELS PRÊTS À L'EMPLOI

    - LES SYSTÈMES HYBRIDES SONT LA CLÉ DES APPLICATIONS IA PRATIQUES

  - INUTILE DE "VENDRE" DU MATÉRIEL
    - LE PC EST PARTOUT
    - D'AUTRES UTILISATIONS ENVISAGÉES
    - CLASSE D'OUTILS PC DISPONIBLES

  - DES PC PUISSANTS APPARAISSENT RAPIDEMENT SUR LE MARCHÉ
    - PC 386
    - MACINTOSH II
    - MACHINE DE TRAITEMENT PARALLÈLE HYPERCUBE
    - PRODUIT ANNONCÉ PAR IBM PLUS TARD AU COURS DE L'ANNÉE

6. TECHOLOGIE LOGICIELLE MODERNE - EUREKA

1. CONTENU

Développement de cellules de fabrication, atelier sur la conception de logiciels reliés au système UNIX et au système EMERAUDE, la version industrialisée du prototype ESPRIT PCTE. Le produit touche de nombreuses activités, dont les systèmes informatiques, les applications de gestion et l'intelligence artificielle.

2. DURÉE DU PROJET

Six ans

3. COÛT DU PROJET

150 millions de dollars

4. COMPAGNIES/PAYS PARTICIPANTS

Suisse (CIR)
Danemark (CRI Computer Resources INT)
Finlande (Nokia)
Italie (Datauat, Intecs, Sesa, Italia, Selenia)
France (SFGL)
Grande Bretagne (CAP Industries Ltd., 143-149 Farringdon Road, London EC1R3AD)
Espagne (Sereland)

12. USINE EUROPÉENNE DE LOGICIELS

1. CONTENU

Conception et création d'une base de données accessible par les entreprises d'élaboration de logiciels.

2. DURÉE DU PROJET

8 ans

3. COÛT DU PROJET

467 millions de dollars

4. COMPAGNIES/PAYS PARTICIPANTS

France (Cap Gemini Soget)
République fédérale d'Allemagne (Nixdorf, Krupp-Atlas, Elektronik etc.)
Norvège
Espagne (Sereland)
Suède

Intérêt : Irlande, Commission

Principes de base de l'interprétation par téléphone

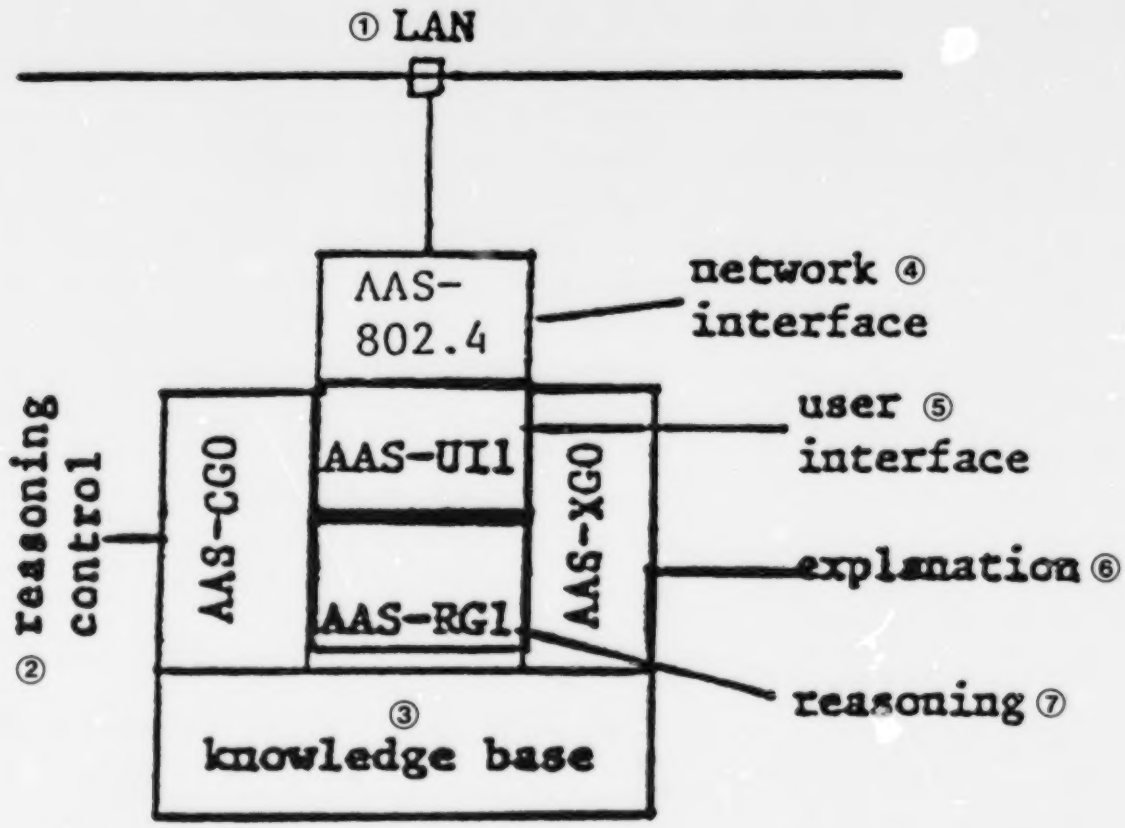
- Intégration de la traduction automatique en temps réel au service téléphonique

Permettre à des personnes de pays différents, s'exprimant chacune dans leur langue, de communiquer sans problème... Voilà un rêve que l'homme caresse depuis plusieurs années. Bientôt, on devra traduire et transmettre automatiquement les conversations téléphoniques. À cet effet, on poursuit des recherches en reconnaissance vocale, en traduction d'une langue à une autre, en synthèse automatisée de la parole et dans d'autres techniques connexes. On teste aussi des prototype pour évaluer les systèmes obtenus par la combinaison de ces techniques.

Étude des fondements des sciences de l'homme où interviennent les mécanismes auditifs et visuels

- La recherche sur les mécanismes auditifs et visuels est axée sur la conception d'interfaces homme-machine mieux orchestrées

La psychologie, la physiologie et l'ingénierie ne sont que quelques-uns des secteurs auxquels on fait appel lorsqu'on tente de réaliser des systèmes informatiques et des systèmes de communication pleinement adaptés à l'être humain et facilement exploitables par tous. Les chercheurs poursuivent leurs travaux de recherche dans ces domaines, voulant modéliser les processus de perception et de reconnaissance par l'ouie et la vue que l'on retrouve chez l'être humain, de même que son mode de raisonnement et ses mécanismes d'apprentissage et de comportement. Non seulement veut-on réaliser des progrès monstres dans les technologies de reconnaissance des caractères, des chiffres, des images et de la parole, mais on recherche aussi la forme optimale que les interfaces homme-machine prendront dans la société riche en informations qui nous attend.



① Réseau local

② Contrôle du raisonnement

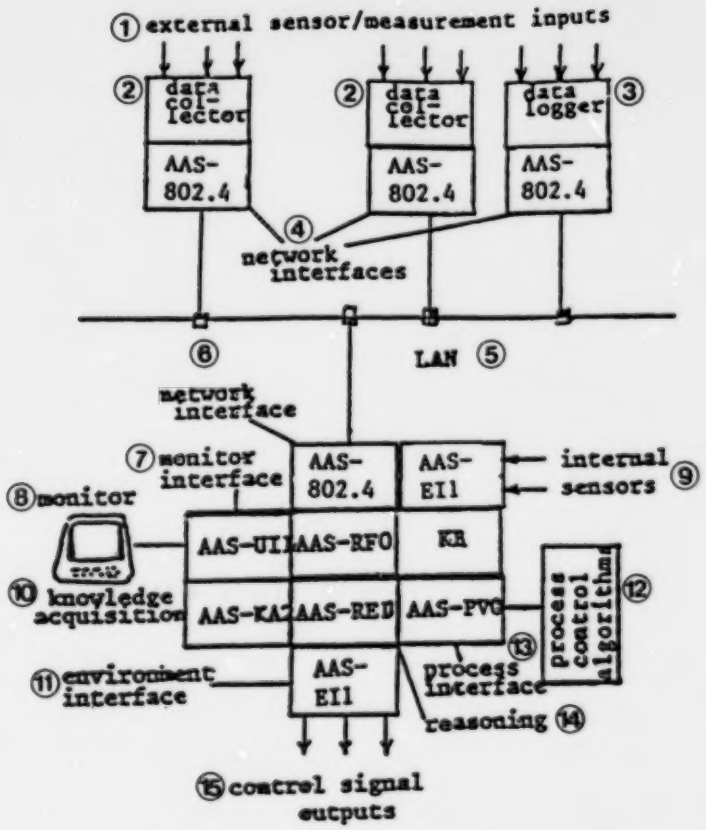
③ Base de connaissances

④ Interface avec le réseau

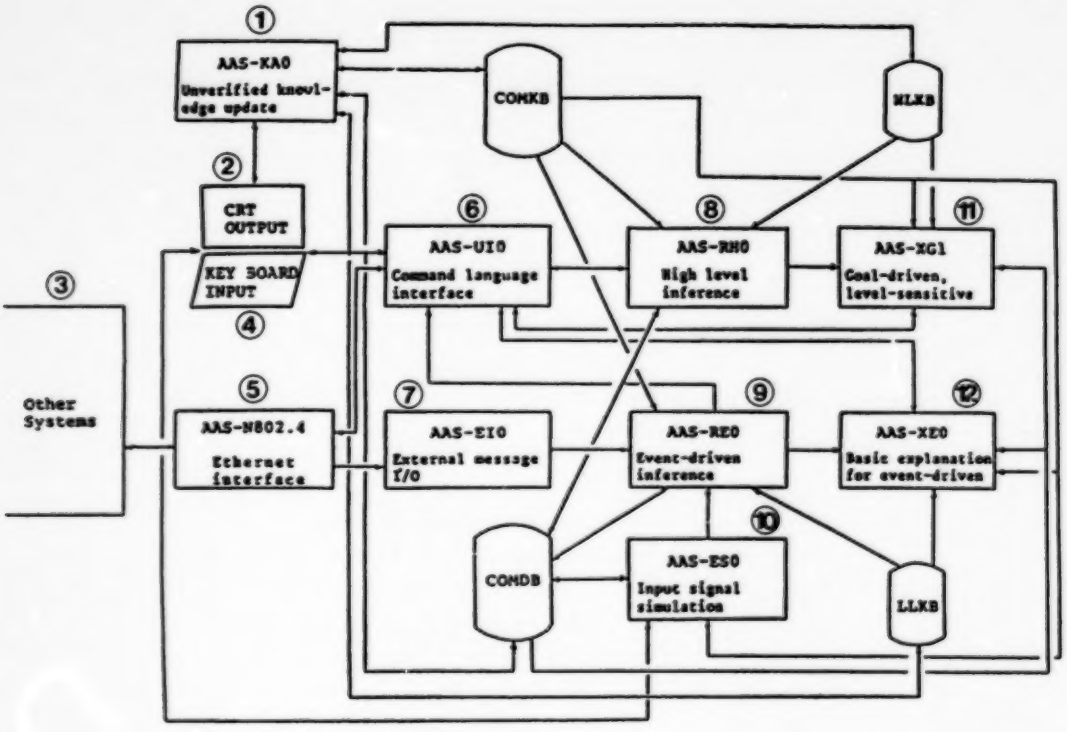
⑤ Interface avec l'utilisateur

⑥ Explication

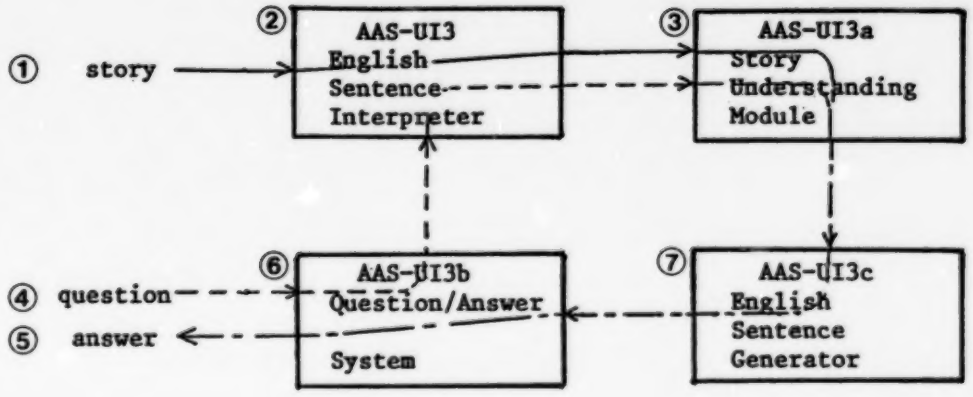
⑦ Raisonnement



① Capteur externe/données d'entrée de mesure
② Appareil de collecte de données
③ Enregistreur de données
④ Interfaces avec le réseau
⑤ Réseau local
⑥ Interface avec le réseau
⑦ Interface avec le moniteur
⑧ Moniteur
⑨ Capteurs internes
⑩ Acquisition des connaissances
⑪ Interface avec le milieu
⑫ Algorithme de conduite de processus
⑬ Interface avec le processus
⑭ Raisonnement
⑮ Signaux de contrôle - données de sortie



① Mise à jour de la connaissance non vérifiée
② Sortie sur écran
③ Autres systèmes
④ Entrée au clavier
⑤ Interface Ethernet
⑥ Interface avec les langages de commande
⑦ E/S des messages externes
⑧ Inférence de haut niveau
⑨ Inférence guidée par les événements
⑩ Simulation de signaux d'entrée
⑪ Dirigé par le but, sensible au niveau
⑫ Explication de base pour les raisonnements dirigés par les événements



① Histoire
② Interpréteur de phrases en langue anglaise
③ Module de compréhension de l'histoire
④ Question
⑤ Réponse
⑥ Système d'interrogation/de réponse
⑦ Générateur de phrases en langue anglaise

	AAS No.	Function	Status
Ⓐ	AAS-RG0	Goal-driven, depth-first inference	done
	AAS-RG1	Goal-drivenm procedural inference	done
	AAS-RE0	Event-driven inference	done
	AAS-RH0	High-level inference with meta-level knowledge	done
	AAS-RF0	Function/structure-based inference	planned
	AAS-RTM0	Reasoning based on instantiation	planned
	AAS-RH1	Combined meta-level, function/artucture-based inference	planned
Ⓑ	AAS-CG0	Top-down, depth-first search	done
	AAS-CG1	Top-down, breadth-first search	done
	AAS-CH0	Heuristic search-1	done
	AAS-CH1	Heuristic search-2	design
Ⓒ	AAS-XG0	Basic explanation (why, how) in goal-driven inference	done
	AAS-XE0	Basic explanation in event-driven inference	done
	AAS-XG1	Goal-driven, level sensitive explanation	testing
	AAS-XC0	Explanation based on causality analysis	planned
	AAS-XP0	Plan based explanation	design
Ⓓ	AAS-KA0	Unverified knowledge acquisition	design
	AAS-KA1	Simple, verified acquisition	planned
	AAS-KA2	Acquisition by induction learning	planned
Ⓔ	AAS-UI0	Fixed syntax command language interface	done
	AAS-UI1	Template natural language interface	done
	AAS-UI2	Case frame instantiation interface	design
	AAS-UI3	Expectation-driven English parser	impl'mt
Ⓕ	AAS-N232	RS232 message interface	design
	AAS-N802.4	Ethernet (IEEE 802.4) message interface	design
	AAS-OSIx	Generalized OSI interface	planned
Ⓖ	AAS-PU0	Message/signal interface for UNIX-based systems	planned
	AAS-PV0	Message/signal interface for VMS-based systems	planned
	AAS-PI0	Message interface to 8086/8088 assembler module	planned
Ⓗ	AAS-EI0	Message input/output interface to the environment	planned
	AAS-EI1	Signal input/output interface to the environment	design
Ⓘ	AAS-ES0	Input signal simulation (on/off, manual, random)	done
	AAS-ES1	I/O signal simulation (on/off, manual, random, dist, v)	planned

	AAS No	Fonction	État
Ⓐ		Inférence dirigée par le but, profondeur d'abord	terminé
		Inférence procédurale, dirigée par le but	terminé
		Inférence orientée par les événements	terminé
		Inférence de haut niveau avec méta-connaissances	terminé
		Inférence à base de fonctions/de structures	prévu
		Raisonnement basé sur l'instanciation	prévu
		Inférence à base de méta-connaissances, de fonctions et de structures	prévu

Ⓑ	Recherche descendante, profondeur d'abord	terminé
	Recherche descendante, largeur d'abord	terminé
	Recherche heuristique-1	terminé
	Recherche heuristique-2	conception
Ⓒ	Explication de base (pourquoi, comment) dans l'inférence dirigée par le but	terminé
	Explication de base dans l'inférence dirigée par les événements	terminé
	Explication dirigée par les buts, sensible au niveau	essai
	Explication basée sur l'analyse causale	prévu
	Planification de l'explication de base	conception
Ⓓ	Acquisition de la connaissance non vérifiée	conceptprévu
	Acquisition simple, vérifiée	prévu
	Acquisition de connaissances par apprentissage inductif	prévu
Ⓔ	Interface avec les langages de commande de la syntaxe fixe	terminé
	Interface avec les langages naturels d'appariement objet de référence - objet observé	terminé
	Interface d'instanciation du cadre sémantique casuel	conception
	Analyseur d'anglais dirigé par les attentes possibles	implantation
Ⓕ	Interface avec les messages RS232	conception
	Interface avec les messages (IEEE 802.4) Ethernet	conception
	Interface général OSI	prévu

Ⓖ	Interface avec les messages/signaux pour les systèmes gérés par UNIX	prévu
	Interface avec les messages/signaux pour les systèmes gérés par VMS	prévu
	Interface avec les messages pour le module d'assemblage 8086/8088	prévu
Ⓗ	Interface d'entrée/de sortie des messages avec le milieu	prévu
	Interface d'entrée/de sortie des signaux avec le milieu	conception
Ⓘ	Simulation de signaux d'entrée	terminé
	Simulation de signaux E/S	prévu

Input Text

((David went to the store yesterday)(He got the cable)(Then he went to the Lab))

CD Graph

((PTRANS (actor (person (name (David)))) (object (person (name (David)))) (to
(store))) (ATRANS (actor (person (name (David)))) (object (order)) (from (perso
n (name (David)))) (to (clerk))) (ATRANS (actor (clerk)) (object (cable)) (from
(clerk)) (to (person (name (David))))) (ATRANS (actor (person (name (David)))) (
object (credit)) (from (person (name (David)))) (to (store))) (PTRANS (actor (pe
rson (name (David)))) (object (person (name (David)))) (from (store)) (to (Lab))
)

Question/Answer Session

(Did he go to the store?)

Yes, David went to a store.

(Did he get a cable?)

Yes, A clerk gave David a cable.

(Did David get a connecter?)

No, The person did not give David a connecter?)

(Did David pay money?)

No, David did not give money.

(Did David give credit?)

Yes, David gave a store a credit.

Texte d'entrée

(Hier, David est allé au magasin) (il s'est procuré le câble) (il s'est ensuite rendu au laboratoire)

Graphe

((PTRANS (acteur (personne (nom (David)))) (objet (personne (nom (David)))) ((magasin))) (ATRANS (acteur (personne (nom (David)))) (objet (commande)) (passé par (personne (nom (David)))) (au commis))) (ATRANS (acteur (commis)) (objet (câble)) (de (commis)) (à (personne (nom (David))))) (ATRANS (acteur (personne (nom (David)))) objet (crédit)) (de (personne (nom (David)))) (à (magasin))) (PTRANS (acteur (personne (nom (David)))) (objet (personne (nom (David)))) (de (magasin)) (au (laboratoire)

Séance d'interrogation/de réponse

(Est-il allé au magasin?)
Oui, David est allé au magasin

(S'est-il procuré un câble?)
Oui un commis a remis un câble à David

(David s'est-il procuré un connecteur?)
Non, la personne n'a pas donné de connecteur à David

(David a-t-il payé en argent?)
Non, David n'a donné aucun argent

(David a-t-il utilisé une carte de crédit?)
Oui, David a remis une carte de crédit au magasin

L'IA SUR UNE PUCE

UME MET LES SYSTÈMES EXPERTS À VOTRE PORTÉE

Commande en temps réel pour les applications spécialisées

Transposition de votre base de connaissances en machine-langue

Livraison immédiate à vos clients

Adressez-vous à : U.M.E. Inc. 275 Magnolia
Larkspur, California 94939